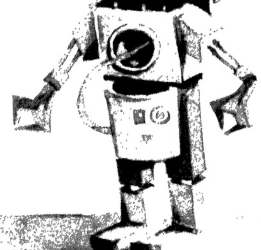
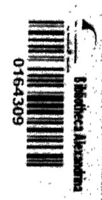
الروبوت

بين الخيال والعلم

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

دكتور مهندس أحمد أمين عبد المجيد





الروبوت

بين الخيال والعلم

دكتور مهندس انور محمود عبد الواحد

دكتور مهندس أحمد أمين عبد المجيد

الطبعة الأولى
١٤١٧ هـ - ١٩٩٦ م

الناشر : مركز الأهرام للترجمة والنشر
مؤسسة الأهرام - شارع الجلاء - القاهرة
تليفون ٥٧٨٦٠٨٣ - فاكس ٥٧٨٦٨٣٣

مقدمـــــة

شهدت السنوات الأخيرة تقدما مذهلا فى تقنيات التحكم الأوتوماتى وتصميم الروبوتات والأذرع الصناعية ، حيث أصبحت هذه الآليات بالغة التعقيد عنصرا حاسما فى المنافسة بين الدول الصناعية .

وقد أدى استخدام الروبوتات فى بعض المجالات الصناعية والخدمية ، إلى زيادة الفعالية الإنتاجية ، وتحسين جودة المنتج . وخفض تكاليف الإنتاج ، وتجنيب العمالة البشرية مخاطر العمل فى الظروف غير الإنسانية وفى الأجواء الملوثة ، مما شجع أرباب الصناعة على التوسع فى تطبيقها فى عمليات اللحام ، والطلاء ، والتجميع ، والفحص ، وتداول المواد ، وما إلى ذلك من العمليات التى لا تكاد تخلو منها صناعة من الصناعات .

وقد شجع التوسع فى استخدام التقنيات الروبوتية المنتجين على تطوير روبوتاتهم لتواكب الاحتياجات المتعاظمة كما ونوعا ، حيث جرى فى الآونة الأخيرة ابتكار روبوتات بالغة الروعة ، يمكنها استشعار البيئة المحيطة ، وإعادة برمجة معطياتها وفقا لنتائج هذا الاستشعار ، مما دعا البعض إلى وصفها بالروبوتات الذكية .

وسوف تشهد السنوات القادمة من بداية القرن الحادى والعشرين تغلغل التقنيات الروبوتية فى مختلف المجالات الصناعية والخدمية بالدول الكبرى ؛ لحسم المنافسة اقتصاديا لمصلحة الدول الأكثر استخداما للروبوتات .

ورغم أهمية وخطورة الدور الذى سوف تلعبه الروبوتات فى المستقبل القريب ، فمازالت الأرضية غير ممهدة فى عالمنا العربى لاستقبال هذه الثورة التقنية . إذ ما زالت الأفكار الشائعة عن هذه التقنيات بين مواطنينا أقرب ما تكون إلى شطحات الخيال العلمى وتصورات أفلام حروب الكواكب . فى الوقت الذى نحتاج فيه للاستفادة من الروبوتات إلى فهم واقعى للأبعاد التقنية والاقتصادية والاجتماعية للمشروعات الروبوتية ، ومدى مواءمتها للظروف السائدة فى بلدان العالم العربى .

وقد تبين لنا ندرة ما كتب بالعربية فى مجال الروبوتية ، رغم أهمية هذا الموضوع ، وكذلك عدم مناسبة الترجمة المباشرة فيه للاحتياجات المحلية ، بالنظر لاختلاف ظروف التنمية الصناعية والاجتماعية للدول العربية ، عن ظروف الدول التى نشأت فيها هذه التقنيات .

وقد راعينا فى وضع مؤلف « قصة الروبوت » العناصر الآتية :

أولا : ضرورة أن يتضمن الكتاب ، وهو الجديد من نوعه فى هذا المجال ، تأريخا وافيا لنشأة التقنيات الروبوتية وتطورها عبر سنوات القرن العشرين .

ثانيا : ضرورة إضفاء صورة واقعية على عالم الروبوت من خلال عرض الأسس العلمية والتقنية التى تقوم عليها هذه الصناعة ، على أن يكون ذلك بأسلوب سلس واضح ، يتناسب مع تنوع ثقافات القراء ، ولايخل فى الوقت نفسه بصحة الحقائق العلمية المعروضة .

ثالثا : ضرورة أن يتضمن الكتاب تحليلا وافيا للمتطلبات الاجتماعية والاقتصادية والتقنية التى يحتاجها نقل التقنيات الروبوتية للدول العربية .

رابعا: الاعتماد على أحدث المراجع والدوريات العلمية حتى يمتد الانتفاع بالكتاب لأطول فترة ممكنة .

ولقد كانت الصعوبة الأساسية التى اعترضتنا عند تأليف هذا الكتاب ، هى التنوع الكبير فى ثقافات القراء ، على حين يحتاج الكثير من الموضوعات المطروحة فيه إلى خلفية علمية مناسبة . ورغم أننا لا ندعى تغلبنا بشكل كامل على هذه الصعوبة ، فإننا اتخذنا من الخطوات ما يخفف الكثير من تداعياتها . ومن ذلك :

١ - الابتعاد عن المعالجات الرياضياتية للموضوعات التقنية المعروضة ، والاستعانة بالأشكال التوضيحية ، خاصة فى الفصل الثانى من الكتاب الذى خصصناه لأساسيات التقنيات الروبوتية .

٢ - وضع المقابل الإنجليزى للمصطلحات العربية فى سياق النص كلما أمكن ذلك ، لمساعدة القارىء المتخصص على التجاوب مع ما ارتأيناه من ترجمة عربية للمصطلح ، قد يتفق أو يختلف معنا بشأنها .

٣ - موافاة القارىء ، الذى تؤهله خلفيته العلمية للاطلاع على المراجع المتخصصة ، بثبت للمراجع وقائمة بالمصطلحات الفنية (إنجليزى - عربى) تشتمل على أكثر من ٥٠٠ مصطلح أساسى ، نأمل أن تساعده على اجتياز

الحاجز اللغوى حين اطلاعه على مراجعه المختارة .

ونسأل الله العلى القدير أن يكون هذا الكتاب لبنة فى بناء مكتبة عربية تقنية ، توفر للقارىء العربى بعض مقومات الانطلاق نحو مستقبل حضارى مشرق مع مشارف القرن الحادى والعشرين .

المحتويات

صفحة

الفصل الأول

خلفيـــة تاريخيـــة

منشأ مصطلح الروبوت :

تدين البشرية فى تقدمها الحضارى للعديد من إبداعات الخيال العلمى ، حيث وصل كتّاب الخيال العلمى إلى سطح القمر قبل وصول العلماء إليه بنحو نصف قرن ، وكذلك الحال بالنسبة لموضوع هذا الكتاب ، إذ داعبت فكرة محاكاة الخلق البشرى خيال الأدباء منذ أقدم العصور ، وإن فاز من بينهم الكاتب المسرحى التشيكى « كاريل تشابك » بسبق إطلاق مصطلحه « روبوت » Robot على أى من تلك الآليات بالغة الروعة ، التى أتت إلى الوجود بعد كتابته لمسرحيته الشهيرة « روبوتات روسوم العالمية » .R.U.R بنحو نصف قرن .

كان ذلك عام ١٩٢١ ، فى جو يسوده التفاؤل والإيمان بالإمكانات التى لا حد لها لتسخير الآلة لخدمة البشر .

وقدم لنا « تشابك » فى مسرحيته الإنسان العالم وما صنعت يداه ، ذلك العالم الذى زعم أنه يستطيع أن يحاكى الله عز وجل فى قدرته ويخرج لنا الإنسان الآلى ، آلة ذكية قوية ، إلا أن الزمام أفلت من الإنسان فلم يعد قادرا على السيطرة عليها ، فطغت وتسلطت على من قام بإخراجها إلى حيز الوجود . وفى النهاية تستولى على الحكم فى أنحاء العالم ، وتسخر الإنسان الوحيد الباقى على سطح الأرض فى اكتشاف طريقة لتزايدها .

وقد شاع استعمال كلمة « روبوت » Robot منذ القرن الثامن عشر فى النمسا وهنغاريا (المجر) ، وكانت تشير إلى أعمال السخرة فى مزارع الاقطاعيين والنبلاء . وكلمة Robot مشتقة من الفعل robit فى اللغة التشيكية وتعنى « يعمل » . وقد أصدرت « ماريا تيريزا » (١٧١٧ - ١٧٨٠) إمبراطورة النمسا ، وابنها « جوزيف الثانى » ، الذى أصبح إمبراطورا للنمسا عام ١٧٦٥ ، تراخيص عمل Robot-Patante تحدد ساعات العمل التى يعملها الأجراء فى أرض النبلاء وأصحاب الإقطاعيات .

وأصبحت كلمة Robot شائعة فى معظم اللغات بعد عام ١٩٢٣ على إثر ظهور « روبوتات روسوم العالمية » أو Rossum's Universal Robots « لكاريل تشابك » ، وأصبحت تطلق إما على الآلات الميكانيكية معقدة التركيب التى لها من الدقة والحساسية فى العمل ما يجعلها تشبه الإنسان ، وإما على الإنسان الذى يقوم

بأعمال روتينية أو حركات ميكانيكية بحتة حتى ليخيل إلى الناظر إليه أنه جزء من الآلة التى يديرها .

ورغم شيوع مصطلح « روبوت » فى معظم لغات العالم ، فإن مصطلح « الإنسان الآلى » يَلْقى فى الوقت الحاضر قبولا أكثر لدى الكثير من كتاب العربية ، أولا لوضوحه فى التعبير عن مسماه ، وثانيا لأنه مصطلح عربى صرف ، وذلك خلافا لما هو متبع من تفضيل استعمال المصطلحات الأجنبية المعربة ، مثل الراديو والتليفزيون والتليفون والفاكس والتلكس والكمبيوتر ، إلخ ، لسهولة استعمالها وشيوعها على ألسنة العامة .

إلا أن ما يدفعنا إلى تحبيذ استخدام مصطلح « الروبوت » هو أن « الإنسان الآلى » لم يعد « إنسانا » فى العديد من التطبيقات التقنية الحديثة ، فها هى السلاحف turtles والحيوانات animals الآلية قد بدأت فى غزو عالم الروبوتات .

أما السلاحف الآلية ، فهى أجهزة صغيرة يبلغ طولها نحو ١٥ سم ، تتحرك على عجلات ، وتستطيع أن تصدر أصواتا ، وهى مزودة بمستشعرات لمسية وبصرية ، إضافة إلى أقلام رسم . وتستعمل السلاحف الآلية عادة للرسم ، وذلك بوصلها بكمبيوتر منزلى يقوم بالتحكم فيها وجعلها ترسم الرسوم والخطوط المطلوبة . وأما الحيوانات الآلية ، فهى روبوتات بدائية وبسيطة للغاية لا يتعدى حجمها علبة السيجار ، ولكنها تمتلك المقدرة على التطور والتكيف مع الظروف المحيطة . ويعكف العلماء حاليا على تصميم تلك الحيوانات أو محاكاتها على أجهزة الحواسيب ، ومن ثم مراقبة ودراسة تصرفاتها على الواقع أو على شاشة الحاسوب ، تماما كما يقوم عالم الأحياء أو عالم الحشرات بدراسة الكائنات الحية فى المختبر . وبناء على مشاهدتهم تلك ، سوف يحاولون تطوير كل جيل من أجيالها تطويرا بسيطا عن الجيل السابق له . وشيئا فشيئا ستبدو الأجيال المتعاقبة من هذه الكائنات وكأنها تتطور وتتعلم بمرور الزمن .

الروبوت وإبداعات الفكر والخيال العلمى :

لقد استحوذت فكرة صنع إنسان آلى على خيال الإنسان منذ القدم ، ويحتوى التراث القديم على مشروعات كثيرة لآلات تفتق عنها عقل الإنسان لتريحه من عناء العمل العضلى وتوفر له أسباب الراحة .

وتزخر حكايات ألف ليلة وليلة بأساطير عن بوابة المغارة التى تنفتح على مصراعيها دون أن تمسها يد إنسان بمجرد الاستجابة الصوتية لكلمتى « افتح

ياسمسم » ؛ وعن الفرس الأبنوسى الذى يطير بالضغط على زر فى رقبته ؛ وعن الطاووس العجيب الذى يصفق ويصيح كلما مرت ساعة من الزمان ؛ وعن البوق النحاسى الذى يوضع عند باب المدينة ، فإذا دخلها عدو شرير ، انطلق صوت البوق منبها الحراس . وتزخر كذلك قصص السندباد البحرى فى ألف ليلة وليلة بمردة (أوتوماتونات) من أنواع مختلفة يتحركون ذاتيا ويمارسون شتى فنون القتال . ولا يكاد يشب طفل عن الطوق فى البلاد العربية وفى الشرق بوجه عام دون أن يسمع بأسطورة البساط السحرى الذى يطير بصاحبه استجابة لكلمات معينة .

وفى روايات العصور الوسطى نقرأ عن رأس كبير لإنسان من النحاس يجيب عن أى سؤال أو استفسار عن الماضى والحاضر والمستقبل . كما نقرأ فى الأدب الأيسلندى القديم عن سفينة « فرثييوف » التى كانت فى غير حاجة إلى قبطان يسيرها ، فقد كانت تفهم ما يقال لها ، وتطيع ما يلقى عليها من أوامر .

كذلك تحفل أساطير وخرافات الإغريق بحكايات عن ابتداع كائنات صناعية شبيهة بالبشر . فعندما رفضت « أفروديت » (إلهة الجمال عند الإغريق) مبادلة « بيجماليون » غرامه ، قام بصنع تمثال من العاج على شاكلتها ليبثه حبه بدلا عنها ، وبلغ من تأثر أفروديت من هذا الصنيع أنها « تنفخ الحياة » فى التمثال وتصبح « جالاتيا » ، ذلك التمثال الحى ، محبوبة « بيجماليون » .

وكان « هيفاستوس » ، زوج « أفروديت » ، يبتدع خادمات مصنوعات من الذهب وقادرة على التكلم . واشتهر « دايدالوس » ، وهو من سلالة « هيفاستوس » ، بأنه قد صنع تماثيل يمكنها التحرك من ذات نفسها . وهذه جميعا أمثلة واضحة عن كائنات أسطورية كانت تبتدع بدورها كائنات أسطورية « روبوتية » تمثل بصورة جلية رغبات دفينة فى نفس الإنسان .

وإذا كانت هذه هى حال الأقدمين فى ولعهم بالمخلوقات الأسطورية الآلية ، فإن المحدثين من كتاب روايات الخيال العلمى قد بذّوهم فى هذا المجال ، حيث توافرت لديهم المقومات التقنية التى وضعتهم على أعتاب التصوير العلمى الصحيح لما قد يكون عليه حال الروبوت فى المستقبل القريب أو البعيد . ففضلا عن مسرحية « تشابك » المذكورة آنفا ، كان لـ « اسحق أزيموف » الكاتب الأمريكى الروسى الأصل ، الذى بدأ سلسلة رواياته عن الروبوتات فى عام ١٩٣٩ ، فضل صياغة القوانين الثلاثة الأساسية التى ما زالت ، إلى حد كبير ، تحكم إنتاج التقنيات الروبوتية حتى يومنا هذا ، وهذه القوانين هى :

١ - لا يجوز للروبوت أن يؤذى الإنسان ، أو أن يتسبب فى إلحاق الأذى بأى إنسان .

٢ - ينبغى للروبوت أن يمتثل لأوامر الإنسان ، ما لم تتعارض تلك الأوامر مع القانون الأول .

٣ - يجب على الروبوت أن يحمى وجوده ، ما دام ذلك لا يتعارض مع القانونين الأول والثانى .

وقد نشطت صناعة « السينما » فى بداية هذا القرن ، وظهر معها اهتمام إنسان القرن العشرين بالروبوتات . ففى عام ١٩٠٩ ، أنتج البريطانيون فيلما اسمه « الخادم الكهربائى » ؛ وفى عام ١٩٢٤ ، أنتج فيلم آخر كان عنوانه « الآلة المفكرة » ، على حين ركز فيلم ثالث أنتج فى عام ١٩٣٧ على موضوع « الخادم الميكانيكى » . إلا أن هذه الأفلام الثلاثة لم تكن تتناول أساسا سوى الخدم الميكانيكيين ، خلافا لفيلم « ساحر أوز » The Wizard of Oz فى عام ١٩٣٩ ، الذى يدور حول رجل من صفيح ضيع قلبه ثم حاول العثور عليه . ويبدو أن هذا الفيلم قد حول التركيز على الروبوتيات من الجانب الاسترقاقى إلى الجانب السيادى المناظر . وعلى سبيل المثال ، فإن المسلسل التليفزيونى « رحلة عبر النجوم » Star Trek ابتدع روبوتات أكثر ذكاء من البشر فى بعض الحالات . وبالمثل ، فإن الفيلم « ٢٠٠١ ، أوديسة فى الفضاء » ، الذى كانت أحداثه تسبق أحداث فيلم Star Trek بعدة مئات من السنين ، قد صور فى عام ١٩٦٨ روبوتا فائق الذكاء على هيئة كمبيوتر يسمى « هال » HAL . ويقوم هذا الكمبيوتر بمراقبة جميع نظم التشغيل على متن سفينة فضاء فى طريقها إلى كوكب المشترى ، وجرى تصميمه ليكون صديقا وفيا وناصحا أمينا لطاقم قيادة السفينة ، إلا أن عطلا أصاب إحدى دوائره الإلكترونية ، مما حوله إلى قاتل يسعى بإصرار للتخلص من جميع أفراد الطاقم تحت مظنة حماية نفسه منهم ، ولم يتوقف عن ذلك إلا بعد صراع تقنى عنيف مع آخر من تبقى من طاقم القيادة .

ولقد طوّر الفيلم السينمائى « رجل الستة ملايين دولار » الذى أنتج فى ١٩٧٣ ، ثم أصبح مسلسلا تليفزيونيا ، موضوع البشر الذى تعاونهم وتحرضهم وسائل ميكانيكية لتنمية قدراتهم وتوسيعها . وتدور قصة الفيلم حول البطل الذى تناثرت أشلاؤه فى حادثة طائرة محترقة ، ثم جمعت معا مرة أخرى باستخدام تقنيات أكسبته قدرات فوق بشرية .

وقد صورت سلسلة أفلام « حروب النجوم » (Star Wars فى ١٩٧٧ ،

و The Empire Strikes Back فى ١٩٨٠ ، و The Return of the Jedi فى ١٩٨٣) الروبوتات فى هيئة آلات صديقة وغير ضارة . فالروبوت R2 D2 والروبوت C3 PO كلاهما قادر على الحركة السلسة والتواصل مع ساداتهما البشريين ، ورغم عدم قيامهما بأدوار أساسية فى الفيلم فإن ما تميزا به من ذكاء اصطناعى كان مثار تسرية عن المشاهدين فى إشارة واضحة إلى ما يجب أن يكون عليه الروبوت فى علاقته مع البشر ، وفقا للقوانين الثلاثة لإسحاق أزيموف .

وقد أنتجت السينما الأمريكية فى عام ١٩٩٢ فيلم ''The Universal Soldier'' الذى عرض فى دور السينما العربية تحت اسم « المدمر » . وتدور قصة الفيلم حول قيام مجموعة خاصة من علماء الجيش الأمريكى باستخدام جثث مجموعة من الجنود الأمريكيين حديثى الوفاة (قتلوا فى معارك فيتنام) ، كروبوتات بشرية بعد معالجة الجثث بالتبريد الفائق وإعادة برمجة الخلايا المخية ، مما أكسب أجسام الجنود مقدرة كبيرة على القتال الشرس وجعلهم مؤهلين للتصدى للمهام الخطيرة . إلا أن نزاعا سابقا على الوفاة بين جنديين ، أحدهما معارض للممارسات العنصرية فى الحرب والآخر مؤيد لها ، أدى إلى تمرد روبوت الأخير فى تطور شاذ ، على مجموعة التشغيل وخروجه فى مطاردة مثيرة لغريمه أدت إلى أحداث مدمرة .

ويعكس هذا الفيلم مرة أخرى الخوف من سيطرة النزاعات اللاأخلاقية فى مجال تطوير الروبوتات . ومحاولة استخدام الأجسام البشرية وعاء لأحدث التقنيات الروبوتية بعد أن تعجز هذه التقنيات (فى المستقبل البعيد) عن مضاهاة التكوين الجسمانى البشرى ، رغم ما تجمع لدى الإنسان من إمكانات تصميم وتصنيع بالغة التعقيد .

ويبلغ الخيال العلمى ذروته فى محاولة استخدام طفرات الهندسة الوراثية فى تحويل الكيانات البشرية إلى مخلوقات حيوانية عاقلة وذكية ، بعضها خيّر وبعضها شرير ، يدور بينها صراع ينتهى لصالح الإنسان . إذ يبدو أن السلاحف الروبوتية الآلية قد أوحت إلى منتجى الأفلام الأمريكية فى عام ١٩٩٢ بفكرة فيلم « قبضة سلاحف النينجا » ، وقد صارت دمى هذه السلاحف المتحولة العاقلة أحب اللعب إلى الأطفال فى أنحاء العالم كافة . ويؤكد هذا الفيلم إصرار السينما الأمريكية على فك الارتباط بين الجمال الأخلاقى وجمال الصورة عند الأجيال الصاعدة ، بشكل يوحى بإحداث تحول فى التصور المثالى للروبوت على الهيئة البشرية .

ومما يستدعى التساؤل ، أنه رغم كثرة تناول أدباء الخيال العلمى فى الدول الغربية والشرقية على السواء لموضوع الروبوتات ، وتعدد أساليب معالجة إنتاجهم

بالمسرح والسينما والتليفزيون ، فإننا لانكاد نجد صدى لهذا فى أعمال الكتاب العرب أو فى وسائل الإعلام العربية من مسرح وسينما وخلافه . رغم أهمية حفز خيال النشء العربى وتهيئته للتعامل مع أحد أهم عناصر الثورة التقنية فى القرن الحادى والعشرين .

البدايات الأولى للتطبيقات الروبوتية :

أولا : البدايات الفكرية :

إن كثيرا من الأفكار المرتبطة بالروبوتيات ، أو التى لها تأثير عليها ، كانت شائعة منذ آلاف من السنين . وهذه لم تكن أفكارا عن الروبوتيات ، بل هى أفكار اتخذتها الروبوتيات عند ظهورها . وإذا ألقينا نظرة على الماضى ، يمكننا تتبع فكرة الروبوتات بالمفهوم الذى نستعمل به المصطلح الآن ، حيث نجد أفكارا أو أنماطا للتفكير كان لها تأثيرها على تطوير التقنيات الروبوتية إلى الشكل الذى نجده عليها حاليا .

ويمكن على وجه العموم الرجوع بالبدايات الفكرية الروبوتية إلى كل من أفلاطون وديكارت ، إذ يرجع الفضل إلى أفلاطون فى ترسيخ النظر إلى الأحداث بدلالة الأنماط والأفكار ، على حين يرجع الفضل إلى ديكارت فى اقتراح نموذج نظرى لإنسان ميكانيكى كان له بالتأكيد تأثير على الأعمال التالية التى تمت فى هذا المجال .

وكان من رأى أفلاطون : أنك حينما تتعامل مع العالم على هدى الإحساس وحده ، فإن كل شيء يبدو غير مرتبط بأى شيء آخر . ولكنك حين تنظر إلى الأحداث بدلالة الأنماط والأفكار ، فإنك تستطيع أن تتعرف على الترابط والعلاقات بينها .

ولقد طبقت هذه الفكرة ، فى صلة خاصة وثيقة مع الروبوتيات ، فى كتاب أفلاطون « مينو » Meno . وكانت الفكرة التى توسع فيها هناك هى أن أية ظاهرة طبيعية إنما يمكن تفهمها باستعمال بضع خطوات منطقية بسيطة :

ما هى هذه الظاهرة ؟ (اذكرها) .
ما هى خصائص هذه الظاهرة ؟ (صفها) .
كيف تترابط هذه الخصائص بعضها مع بعض ؟ (اشرح ذلك) .
ولنأخذ مثالا على ذلك :

هذا مثلث .

للمثلثات ثلاثة أضلاع . ومجموع زوايا أى مثلث يساوى زاوية نصف دائرة (فى الهندسة الجيومترية التقليدية) .

وعلاقة كل ضلع بأى ضلع آخر تتمثل فى أنه فى أى مثلث قائم الزاوية (٩٠ درجة) ، يكون مربع الوتر (الضلع الأطول) مساويا لمجموع مربعى طول الضلعين الآخرين .

ولقد استمر تقليد البحث عن الأنماط بعد أفلاطون بحيث أثر على الرياضيات فى صورة أعمال أرسطو المنطقية ، مثلا ، والتى شكلت « المرجع » الأساسى للمنطق حتى عام ١٩١١ حينما أعلن « راسل » و « هوايتهيد » فى كتابهما Principia Mathematica عن المنطق « الرمزى » فى علم المنطق .

وهذا المنطق الرمزى هو أساس كل من النظرية الإلكترونية ومنطق برمجة الحواسيب ، وأسلوب بناء الحواسيب .

وهذا التقليد يمكن تسميته التقليد الخوارزمى algorithmic tradition ، بمفهوم أنه يشكل بحثا عن « الخطوات » اللازمة لحل أية مسألة ، وعن النمط الذى يفسر أية ظاهرة . إنه تقليد تاريخى يذهب إلى أبعد من الإحساس ، تقليد تمثله أفضل تمثيل نظرية أينشتين عن النسبية التى تعتبر قفزة تتعدى الفطرة البديهية وتتجاوز الخبرة الحسية . فآراء اينشتين عن الضوء ، مثلا ، مضادة للبديهة ، أى أنها لا تصدر عن خبرة حسية ، بل من خبرة مضادة للحس . والتنبؤ بأن الضوء يمكن أن ينحنى عندما يمر فى جسم ثقيل – ولقد كان هذا أول استنتاج يمكن اختباره لنظرية النسبية – لم يكن شيئا أمكن التوصل إليه بفحص الخبرة الحسية ثم التعميم منها .

والفكرة الخوارزمية هى تتابع إجراءات لحل مسألة ما . والسمة الرئيسية لهذه الفكرة هى ظهور طرق متزايدة الفعالية لتحديد إجراءات معقدة ثم تطبيقها . والرياضيات هى أفضل مثال لهذه الإجراءات المعقدة التى تعطينا تفهما للطبيعة والسيطرة عليها .

ونسوق مثالا واحدا يمكننا من توضيح هذه النقطة . فمن التقنيات الرياضياتية التى تستعمل حاليا على أوسع نطاق تلك المعروفة باسم « متسلسلة (أو متتالية) فورييه » .

وتنبنى هذه التقنية على أفكار عالمين رياضيين هما برنولى وفورييه .

ولقد أسهم برنولى بما هو معروف فى نظرية الاحتمالات والاستاتيكا باسم « قانون الأعداد الكبيرة » ، والذى ينص على أنه فى مدة زمنية ، طويلة طولا كافيا ، وفى عدد من القيم الرقمية والقياسات الكبيرة كبرا كافيا ، والتى تصف أحداثا محتملة الوقوع ، فإن القيم ستقع فى نمط معين .

أما إسهام « فورييه » فكان فى فكرة أنه من الممكن وصف أى حدث محتمل الوقوع (أو أية مجموعة متتالية من الأحداث) باستعمال فكرة الموجة : أنه من الممكن التنبؤ بقمم وقرارات موجة البحر ، وأنه من الممكن بيان أن ارتفاعات وأعماق هذه الذروات إنما تقع فى نمط محدد . ويعتبر تحليل فورييه للحركات الموجية أكثر أسلحة العلم التحليلية استعمالا ، ومن الصعب أن نجد علما لا يستفيد منه على نحو أو آخر . إن ما ارتآه « فورييه » هو الآتى : أنه من حيث نظرنا إلى ظواهر الطبيعة ، وأيا كانت ماهيتها ، فسنجد عند أول اتصال بها أنها لا تتبع أى نظام أو وضوح . فلنأخذ ، مثلا ، الظاهرة المرتبطة بمحاولة التنبؤ بعدد المبيعات التى يمكن توقع إتمامها سنويا . فإذا نظرنا إليها بدلالة منظور واحد ، فسيبدو أن الكيفية التى يشترى الناس بها السلع لا تحدث بأى نمط : فأحد الأشخاص قد يشترى سلعة واحدة اليوم ، وشخص آخر قد يرغب فى شراء عدة سلع . فإذا نظرنا إلى الموضوع من وجهات فردية ، فلا يمكننا التنبؤ بما سيشتريه أى شخص بمفرده . ولكننا إذا نظرنا إلى ظاهرة المبيعات كلها بصفة عامة ، فسنجد أن هناك أنماطا . فبالنسبة لجميع المبيعات التى يمكن توقعها خلال هذا العام ، سنرى أنه يوجد لكل سلعة مستوى يبدو أن المبيعات ستتم عنده ، ويمكن رسم خط للاتجاه الذى يوضح ما إذا كانت المبيعات تتزايد أو تتناقص . فإلقاء نظرة شاملة على ظاهرة المبيعات يجعل الأمر مفهوماً ومعقولا ويمكن « تنميطه » . إن هذه فكرة جوهرية لا غنى عنها فى المجتمع العلمى .

ولقد مر التقليد الخوارزمى بحدثين حاسمين ، أولهما على يد « باسكال » و « باباج » اللذين أوضحا أنه من الممكن ميكنة العقل ، وثانيهما كهربة الخوارزميات على الحواسيب .

وتجمع الروبوتات بين كهربة الخوارزميات على الحواسيب وبين إجراءات تم تطويرها على آلات فيزيائية .

وقد جاء ديكارت بعد أفلاطون بنحو ٢١٠٠ سنة ليوُصل الفكرة المهمة الثانية فى « ما قبل تاريخ الروبوتيات » . فعلى حين ادعى أفلاطون أن المكان الذى يسود فيه النظام والنمطية ليس هو العالم الطبيعى الفيزيائى بل هو العالم العقلى ، فإن

ديكارت قال : فى الواقع أن العالم الطبيعى « منمط » كذلك ، وأنه عند النظر إلى أى شىء فيزيائى يمكننا توصيف المبادىء الميكانيكية التى يعمل بمقتضاها . وكان من رأى ديكارت أن كلا من العقل والجسم له أنماطه التى يمكن توصيفها .

ولقد وصف ديكارت فى كتابه De Homine الذى نشر عام ١٦٦٢ ، البشر والحيوانات بأنهم بمثابة آلات ، أى بمثابة أجهزة يمكن تخليقها ميكانيكيا واصطناعيا .

وإذا كان من المستطاع توصيف نمط ما ، فمن الممكن إذن محاكاته وتقليده . وليس من الممكن فقط محاكاة وتقليد أنماط العقل ، كما اقترح أفلاطون ، بل يمكننا كذلك محاكاة أنماط الجسم ، ومن الممكن تفهم الأجسام بدلالة علاقات ميكانيكية متبادلة . ولما كان الأمر كذلك ، يمكننا تخليق آلات تستطيع محاكاة تلك الأجسام . وبعد ذلك ألف رجل فرنسى آخر ، « لامترى » La Mettrie ، كتابا أسماه « الإنسان الآلة » L'Homme Machine وصف فيه البشر وكأنهم بمثابة آلات .

وعلى ذلك يعتبر القرن السابع عشر هو البداية الحقيقية للأفكار التى تمثل الأساس الصلب للتقنيات الروبوتية التى لم يكتب لها الظهور إلا فى القرن العشرين . والواقع أن التاريخ الحقيقى للروبوتات من الناحية الفكرية ليس سوى مجموعة متتالية من الهوامش والتعليقات على ما قال به ديكارت (١٥٩٦ - ١٦٥٠) من إمكان ميكنة الجسم ، والعقل و (بعض) عملياته . ومنذ ذلك الحين والسؤال المطروح هو : كيف يتأتى لنا تحقيق هذه الميكنة ؟ والإجابة هذه المرة لا يملكها الفلاسفة والمفكرون وإنما العلماء والمهندسون .

ويجرنا الحديث عن البدايات الفكرية للروبوتيات إلى موقف الفكر الإسلامى والعربى من هذه التقنيات . فالذى لاشك فيه أن هناك اختلافا بينا فى المنطلقات الفكرية التى تحكم حركة الحياة فى الدول الغربية وفى الدول العربية والإسلامية . فبينما تقوم الحضارة الغربية على تأكيد مبدأ الصراع (الجدل) والتحدى للقوى الكونية منحية جانبا العوامل الإيمانية والاعتقاد بالبعث كآليات حاكمة لحركة التطور ، نجد التقدم الحضارى فى المجتمعات الإسلامية مرتبطا بفكرة عمارة الكون (خلافة الإنسان لله فى الأرض) والاعتقاد الراسخ بالحساب والبعث . وعلى ذلك ، فإن قبول فكرة التقنيات الروبوتية فى العالم الإسلامى لا يأتى من الرغبة فى محاكاة الخلق الإلهى ، وإنما يأتى من اعتبار عمارة الكون تكليفا أساسيا لا يكمل إيمان المرء إلا به .

ولعل ذلك يعكس الخوف الكامن فى المجتمعات الغربية من الآثار الضارة للاستخدام غير الأخلاقى لهذه التقنيات . ولا شك أن « فرانكنشتين » مارى شيلى

(عام ١٨١٨) كان له تأثير واسع على الجانب الفلسفى للروبوتيات ، حيث كان الناس يستنفدون قدرا من طاقاتهم فى مناقشة مزايا ونقائص أية محاولة لخلق كائنات اصطناعية . وكان أصحاب الآراء التقنية يرون أن مثل هذه المخلوقات نافعة ، على حين كان المتزمتون يعتبرونها مرعبة من حيث قدرتها على فعل الشر والتحطيم . وهذا الفرق قائم منذ عهد بعيد ، وهو راسخ فى أصول المجتمع الغربى ، فلقد كان الرأى العام فى الحضارتين الهلينية والرومانية هو أن الآلات مفيدة وتدل على براعة الإنسان . ومن الناحية الأخرى ، فإن التقاليد العبرية تعتبر الآلات شريرة وهرطقية .

والصراع بين المتزمتين ومؤيدى التقدم التقنى دائم ومتكرر فى المجتمع الغربى القديم . ورغم أن المصطلح « لوديت » Luddite (ويعنى محطم الآلات) يرجع إلى القرن التاسع عشر ، فإن الفكرة قديمة . فابتداء من عام ١٨١١ ، واستمرارا لمدة خمس سنوات بعد ذلك ، تعاهدت جماعة من الحرفيين الإنجليز ، كانوا يسمون أنفسهم « اللوديتيين » ، على محاولة تحطيم الحضارة الصناعية . وكان السبب الرئيسى لديهم هو أنهم كانوا يخشون أن تعصف الصناعة بوظائفهم . وفى القرن السادس عشر ، لم يكن هناك من يشترى آلة بسكال الحاسبة . وكانت الأسباب المطروحة من نوعين ، أحدهما منطقى ، والآخر غير منطقى . أما السبب المنطقى المعارض لآلة بسكال فقد كان ببساطة أن بسكال هو الشخص الوحيد الذى كان يعرف كيف يشغل الآلات ، وبالتالى فلا يوجد شخص آخر يمكنه صيانتها . وأما السبب غير المنطقى فهو أن الآلات كانت ستؤدى إلى فقدان الوظائف .

ولقد عورض كل تقدم تقنى فى تاريخ البشرية لدوافع مماثلة . والقاعدة الاقتصادية الواضحة هى أن التقنيات الجديدة تخلق وظائف أكثر ، ولكن هذا أمر يتجاهله محطمو الآلات .

أما فى المجتمعات الإسلامية ، فيبدو أن ما قد حدث من معارضة لبعض التقنيات الجديدة قد جاء من منطلق الاعتقاد الذى ساد بعض العامة فى هذه المجتمعات باشتمال التقنيات الغربية على نوع من السحر ، بدليل وجود كتاب لسليمان بن سحمان طبع بمطبعة المنار بمصر اسمه « أحسن البضاعة فى كون الساعة ليست بسحر بل صناعة » ، نقل فيه عن الرازى مسائل حول الأعمال الميكانيكية المعروفة عندهم بالصنائع والحيل والأكر (بكرات محزوزة تمر عليها خيوط لنقل الحركة) .

لكن مما يثير التأمل ما ورد فى مقدمة ابن خلدون (عبد الرحمن محمد بن خلدون الحضرمى العلامة المغربى) من تصور للآلية الإنسانية بشكل يصلح أساساً فكريا للتقنيات الروبوتية .يقول ابن خلدون : « ثم إن هذه النفس الإنسانية غائبة عن

العيان وآثارها ظاهرة فى البدن فكأنه وجميع أجزائه مجتمعة ومفترقة آلات للنفس ولقواها » .

ثانيا : البدايات التقنية :

رغم عدم ظهور الروبوتات بمفهومها الحالى ، على النطاق التجارى أو الصناعى ، إلا فى منتصف القرن العشرين ، فإنه ظهر عبر التاريخ العديد من المحاولات التى كتب لها النجاح فى مجال صناعة آليات ذاتية الحركة ، يمكن اعتبارها أساسا تقنيا فيزيائيا لما ظهر بعد ذلك من روبوتات متطورة .

إن تاريخ الروبوتات الميكانيكية مشوق ومثير ، فقد بدأ هذا التاريخ منذ نحو ١٥٠٠ عام قبل الميلاد . إذ يُعتقد أن الساعات المائية المصرية القديمة قد استعملت فيها تماثيل صغيرة لدق أجراس التوقيت ، وهو ما يعتبر بالمصطلح الحديث نوعا من الخوارزمات الميكانيكية (تمييزا له من الخوارزم الإلكترونى) يتمثل فيها إجراء يُتخذ لتحريك التمثال بكيفية منتظمة ، ولتأدية إجراء آخر ، دق الجرس مثلا .

ولابد أن يكون ذلك قد تضمن العديد من البراعات ، فلقد استعمل الماء والهواء والقواعد الهيدرولية لتأدية كثير من الأفعال « الفيزيائية » .

وفى عام ٤٠٠ قبل الميلاد ، يقال أيضا إن أرخيتوس التارنتومى ، الذى اشتهر باختراع البكرة واللولب ، وهما أداتان لا غنى عنهما ، قد اخترع حمامة خشبية يمكن أن تطير .

ويحدثنا القرآن الكريم فى سورة طه (آية ٨٨) عن السامرى الذى أخرج لبنى إسرائيل عجلا جسدا له خوار صنعه من الذهب . ويبدو أنه صمم فيه مسالك لدخول الهواء بكيفية يمكن بها إحداث صوت شبيه بخوار العجل ، ورغم الغرض الخبيث الذى أراده السامرى من صنع تمثاله ، فإنه يمثل نوعا من الخوارزمات النيوماتية التى تحاكى بعض الخصائص الصوتية لكائن حى .

ونجد شبيها لذلك فيما ذكره القرافى المالكى من القرن السابع الهجرى فى كتابه « تنقيح الأصول » ، وهو كتاب فى أصول الفقه تناول فى بعض صفحاته موضوع دلالات الألفاظ ، إذ يحدثنا بحكاية عن تمثال إذا ما عرض للريح دخل الهواء فيه على هيئة مخصوصة ، فخرج من فم التمثال صوت يحكى ألفاظا ذات معنى لدى السامع .

وفى مصر الهلينية ، كان القرن الثانى قبل الميلاد زمنا لتطوير كثير من الأساليب الأوتوماتية . ففى أنحاء البلاد ، كانت هناك تماثيل (لعلها دميات متحركة)

يقال إنها كانت قادرة على التحكم والإيماء والتنبؤ . واخترع « هيرو » السكندرى تمثالا يشغل هيدروليا لهرقل وهو يقتل التنين فى القرن الثالث قبل الميلاد . وكان هيرو مخترعا متعدد المواهب . فكتب عن الميكانيكا ، واخترع المكنة الشقبية والآلة البخارية ، وأنشأ مسرحا متقنا باستخدام الماء لتحريك الممثلين إلى داخل المناظر وإلى خارجها .

وفى القرن الثانى قبل الميلاد ، يقال إن « فيلو » قد قام بإنشاء مسرح أكثر إتقانا يمكن أن تعرض عليه خمسة فصول بأكملها من البداية إلى النهاية .

ولقد كانت السمة الرئيسية لكل هذه الإبداعات الميكانيكية هى أنها كانت إبداعات منفردة الوظيفة ومنفردة البرنامج .

ويرتبط تطور الروبوتات بتطور علم الحيل (عند العرب) وهو ما كان يعرف عند الإغريق بالميكانيكا ، وهو علم قديم اهتمت به شعوب الحضارات القديمة مثل قدماء المصريين والصين والإغريق والرومان . لكن معظم هذه الشعوب كانت تستعمله للأغراض الدينية فى المعابد أو فى ممارسة السحر والتسلية لدى الملوك .

فكان الصينيون يستخدمون عرائس متحركة على المسرح الدينى ، لها مفاصل يتحكم فيها الممثل بواسطة خيوط غير مرئية (كما يحدث فى مسرح العرائس حاليا) .

أما الإغريق فكانوا أول من ألف الكتب فى هذا العلم ووضعوا له القواعد العلمية . وقد صنعوا الآلات العلمية المتحركة التى تستغل قوة دفع الماء أو الهواء ، ومن ذلك الآلات المصوتة المسماة بالأرغن الموسيقى ومنها الساعات .

وقد ابتكر « بترونيوس أرباتير » فى القرن الميلادى الأول دمية يمكنها أن تتحرك مثل الكائن الحى .

وقد بدأ العرب فى تطوير علم الحيل بعد أن قاموا بنقل كتب السابقين من أمثال « اقليدس » « وأرشميدس » « وارسطاليس » « وأبلينوس » « وهيرو » الاسكندرى . ثم ظهر منهم العلماء والمهندسون الذين تخصصوا فى هذا المجال وطوروه ووضعوا له قواعد علمية جديدة وابتكروا تطبيقات رائدة للاستفادة منه . ويمكننا أن نلخص هدف المسلمين من هذا العلم فى تسميته بأنه علم « الحيل النافعة » . وقد ذكروا فى مراجعهم أن الغرض منه (هو الحصول على الفعل الكبير من الجهد اليسير) . ومعنى هذا الاصطلاح ، أن المسلمين أرادوا به منفعة الإنسان واستعمال الحيلة مكان

القوة والعقل مكان العضلات ، والآلة بدل البدن . وقد كان لتعاليم الإسلام وتوجيهاته فضل كبير في تطوير هذا العلم عند العرب .

فقد كانت الشعوب السابقة تعتمد على العبيد وعلى نظام السخرة في قضاء أمورهم المعيشية والتي تحتاج إلى مجهود جسماني كبير . فلما جاء الإسلام حارب السخرة وحرم إرهاق الخدم والعبيد وتحميلهم فوق ما يطيقه الإنسان العادي . هذا إلى جانب تحريمه المشقة على الحيوان . لذلك اتجه المسلمون إلى تطوير الآلات لتقوم بالأعمال الشاقة .

وبعد أن كانت غاية السابقين من هذا العلم لا تتعدى استعماله في التأثير الديني والروحي على أتباع مذاهبهم ، مثل استعمال التماثيل المتحركة أو الناطقة بواسطة الكهان واستعمال الأرغن الموسيقي وغيره من الآلات المصوتة في المعابد ، فقد جاء الإسلام فنهى عن ذلك وجعل الصلة مباشرة بين العبد وربه بدون وسائل وسيطة أو خداع حسي أو بصري .

لهذا كله ، فقد أصبح لعلم الحيل عند المسلمين هدف جديد ، هو التغلب على ضعف الإنسان والتيسير عليه باستعمال الآلة المتحركة .

ومن أشهر علماء المسلمين في علم الحيل في منتصف القرن التاسع الميلادي أولاد موسى بن شاكر ، محمد وأحمد والحسن . وقد ألفوا كتاب « الحيل النافعة » وكتاب « القرطسون » (وهو ميزان الذهب) وكتاب وصف « الآلة التي تزمر بنفسها صنعة بني موسى بن شاكر » . ومن اختراعاتهم التي وصفها المؤرخون بكثير من الإعجاب ، آلة رصد فلكي ضخمة تعمل في مرصدهم وتدار بقوة دفع مائية ، وهي تبين كل النجوم في السماء وتعكسها على مرآة كبيرة وإذا ظهر نجم رصد في الآلة ، وإذا اختفى نجم أو شهاب رصد في الحال وسجل . وقد اخترع أحمد بن موسى قنديلا آليا يضيء ذاتيا وترتفع فيه الفتيلة تلقائيا ويصب الزيت بنفسه ولا يمكن للرياح إطفاؤه .

ومن أساطين هذا العلم في الأندلس عباس بن فرناس (المتوفى سنة ٨٧٨ م) ، وهو صاحب عدد كبير من الاختراعات الميكانيكية ، منها (الميقاتة) لمعرفة الأوقات وهي تسير بقوة دفع مائية . ومنها نموذج القبة السماوية التي توصل فيها إلى محاكاة البرق والرعد ، ثم صنع أول طائرة ذات جناحين متحركين وطار بها من فوق مئذنة مسجد قرطبة .

وفي القرن التاسع الميلادي أيضا (نحو سنة ٨٠٧ م) ، أرسل الخليفة

العباسى هارون الرشيد هدية عجيبة إلى صديقه شارلمان ملك الفرنجة ، و « كانت الهدية عبارة عن ساعة ضخمة بارتفاع حائط الغرفة تتحرك بواسطة قوة مائية ، وعند تمام ساعة يسقط منها عدد معين من الكرات المعدنية ، بعضها فى أثر بعض بعدد الساعات ، فوق قاعدة نحاسية ضخمة . فيسمع لها رنين موسيقى يسمع دويه فى أنحاء القصر . وفى نفس الوقت يُفتح باب من الأبواب الاثنى عشر المؤدية إلى داخل الساعة ويخرج منها فارس يدور حول الساعة ثم يعود إلى حيث خرج . فإذا حانت الساعة الثانية عشرة يخرج من الأبواب اثنا عشر فارسا مرة واحدة ويدورون دورة كاملة ثم يعودون فيدخلون من الأبواب وتنغلق خلفهم » . كان هذا هو الوصف الذى جاء فى المراجع الأجنبية والعربية عن تلك الساعة التى كانت تعد وقتئذ أعجوبة الفن وأثارت دهشة الملك وحاشيته . ولكن رهبان القصر اعتقدوا أن فى داخل الساعة شيطانا يحركها ، فتربصوا به ليلا ، وأحضروا البلط وانهالوا عليها تحطيما ، إلا أنهم لم يجدوا بداخلها شيئا .

وتواصل مراجع التاريخ الرواية ، فتقول إن العرب قد قطعوا شوطا بعيدا فى تطوير هذا النوع من الآلات لقياس الزمن بحيث إنه فى عهد الخليفة المأمون أهدى إلى ملك فرنسا ساعة أكثر تطورا تدار بالقوة الميكانيكية بواسطة أثقال حديدية معلقة فى سلاسل ، وذلك بدلا من القوة المائية .

ويذكر « سارتون » فى موسوعة تاريخ العلم أن بن يونس المصرى (المتوفى ١٠٠٩ م) هو أول من اخترع الرقاص واكتشف قوانين ذبذبته ، وذلك قبل « جاليليو » الإيطالى بنحو ستة قرون .

ويعتبر العالم المهندس بديع الزمان الجزرى المتوفى سنة ١١٨٤ م شيخ العلماء المسلمين فى علم الحيل ، وقد ألف كتاب « الحيل الجامع بين العلم والعمل » ، ويسمى فى أوروبا (الحيل الهندسية) . وهو من أدق الكتب وصفا وشرحا وتفصيلا ، ومحلى بلوحات ملونة ، فيها وصف لآلاته واختراعاته . وما زالت بضع نسخ أصلية من هذا الكتاب موجودة فى متاحف أوروبا حيث يعتزون بها كدرر أثرية ثمينة . وقد ترجم الكتاب إلى جميع اللغات الأوروبية عدة مرات ، وكان قاعدة لعلم الميكانيكا الحديثة . والجزرى هو أول من اخترع الإنسان الآلى (الروبوت) المتحرك للخدمة فى المنزل . طلب منه الخليفة أن يصنع آلة تغنيه عن الخدم كلما رغب فى الوضوء . فصنع له آلة على هيئة غلام منتصب القامة وفى إحدى يديه إبريق ماء وفى اليد الأخرى منشفة وعلى عمامته يقف طائر . فإذا حان وقت الصلاة يصفر الطائر ثم يتقدم الخادم نحو سيده ويصب الماء من الإبريق بمقدار معين ، فإذا انتهى من وضوئه يقدم له المنشفة ثم يعود إلى مكانه والعصفور يغرد .

ومن الغريب أن يغفل « ديريك كيللى » فى كتابه عن الروبوتيات واقعة صناعة الجزرى لأول روبوت شخصى ، رغم إشارته إلى مرجعه عن « الحيل الهندسية » . وعلى أى حال ، فقد استفاد الغرب من التقدم التقنى عند العرب مع بزوغ فجر عصر النهضة . ويحدثنا التاريخ أن « ليوناردو دافنشى » قضى عدة أعوام فى محاولة تطوير جناح يمكن أن يستعمله الإنسان ليطير فى الجو ، ثم اتجه فى عام ١٥١٠ م إلى تطوير إنسان ميكانيكى ، على أساس الفكرة القائلة بأن الإنسان الميكانيكى أسهل صنعا من الإنسان الذى يستطيع الطيران .

وفى عام ١٥٥٧ م ، صنع « جيوفانى تورريانى » روبوتا خشبيا لخدمة أحد الأباطرة ، وكان فى استطاعة هذا الروبوت إحضار الخبز اليومى لسيده من المستودع . وفى وقت ما بين ذلك الحين وبين وفاة « ديكارت » فى عام ١٦٥٠ ، يقال إن « تورريانى » قام هو و « كريستيان هايجنر » بصنع روبوتات من أنواع مختلفة ، وكانت تؤدى الجانب « الميكانيكى » للبشر والحيوانات ، وبالتالى محاكاتها .

وكان القرن الثامن عشر هو ذروة تطوير الإنسان الأوتوماتى قبل القرن الحالى . فقد كانت تصنع فى جميع الأنحاء روبوتات معقدة وفذة – رغم أنها كانت عديمة النفع للأغراض العلمية .

وعلى سبيل المثال ، فلقد ابتكر « فاو كانسون » (١٧٠٩ – ١٧٨٩) فى عام ١٧٣٨ بطة ميكانيكية تستطيع أن تلتقط الحب وتمشى وتبطبط ، وأن تفعل أشياء أخرى مختلفة كالتى يفعلها البط باستثناء الطيران . وقام « فاو كانسون » فيما بعد بصنع عازف على آلة الفلوت يستطيع أن يعزف عدة مقطوعات موسيقية مختلفة . ومثال آخر لروبوت كان فى هذه المرة منفرد الوظيفة ، هو « الكاتب الشاب » الذى ابتدعه « دروز » (١٧٢١ – ١٧٩٠) ، وكان فى استطاعته كتابة رسالة من صفحة واحدة ثم التوقيع باسمه فى ختامها . ولقد صنعت هذه الآلة باستعمال تقنية التسجيلات المتكلمة التى ظهرت فى الأيام المبكرة للموسيقى المسجلة ، حيث كان يدق بالتتابع على أوتاد ميكانيكية مثبتة على جسم إسطوانى . ولن يكون من الصعب حاليا إعادة صياغة هذا « العازف الميكانيكى » إلى آلة إلكترونية قابلة للبرمجة . ويمكن حينئذ للإنسان أن « يقول » الكلمات ، فيقوم عضو صغير بتسطير « الكتابة اليدوية » الفعلية . ولقد استبدل بهذا العضو الصغير جهاز معالجة الكلمات (معالج الكلمات) الذى أصبح من أكثر الأجهزة شيوعا فى حواسيب المكاتب .

كذلك كان القرن التاسع عشر متميزا بالاختراعات الروبوتية من أنواع

مختلفة . ففى ١٨٩٠ ، ابتكر « اديسون » طرازا آخر من الدمية المتكلمة ، وفى ١٨٩٣ ، ابتكر الكنديون روبوتا متقنا يدار بالبخار ، وينفث العادم من فمه . إلاَّ أنّ عام ١٨٧٥ هو الذى شهد أكثر الآليات إتقانا فى القرن التاسع عشر ، حيث عرض « ماسكيلاين » Maskelyne فى لندن لأول مرة اختراعه « سايكو » Psycho وكان « شبه رجل » ميكانيكى يجلس إلى منضدة ، ويستطيع أن يومىء برأسه وأن يؤدى حسابات الجمع والطرح والقسمة (باستعمال المبادىء التى سبق أن طورها « بسكال » فى القرن السابع عشر) . كذلك كان فى استطاعة « سايكو » أن يؤدى بعض الحيل والألعاب السحرية ، وأن يتهجى الكلمات ، ويدخن السجائر ، وأن يلعب « الهويست » (لعبة من ألعاب الورق تشبه « البريدج » ، وتتضمن احتمالات ومهارات استراتيجية) .

وليس الشىء الوحيد اللافت للنظر عن « سايكو » أنه كان يستطيع أن يلعب « الهويست » ، بل إنه كان قادرا على أن يكسب عند ملاعبته للأشخاص ، ليس فقط مرة واحدة أو مرتين ، بل أن يكسب آلاف اللعبات فى مقابل قليل منها يخسرها على مدى عدة سنوات .

ولسوء الحظ ، فقد كشف القناع عن هذه النبيطة فيما بعد ، واتضح أنها لم تكن سوى خدعة تحققت بتوصيل أنابيب تشغيل بالهواء المضغوط بين الإنسان الميكانيكى وبين شخص مختبىء عن الأنظار . ومع ذلك ، فلا أحد يستطيع أن ينكر الحذق والابتكارية المضمنين هنا . وحاليا ، تُستبدل بأنابيب الهواء المضغوط للتحكم فى الروبوت حواسيب وخطوطا هاتفية إلكترونية . والفرق بين الوضعين هو أننا لا ندعى أن الروبوت يقوم فى الواقع بعمل كل ذلك بنفسه . والآلات التى يتم التحكم فيها من الخارج تسمى « مشغلات عن بعد » ، وهى تؤدى كثيرا من المهام المفيدة . ولقد كان « سايكو » آلة تشغيل عن بعد ، ولكنه كان ماهرا جدا .

وهذه الآلات جميعا تبين مدى الاهتمام المتواصل بالروبوتات . بيد أنها توضح الحاجة إلى تطوير روبوتات قادرة ميكانيكيا . ولقد قام أشخاص مهرة وأذكياء بتطوير آلات ماهرة وذكية ، ورغم أنها لافتة للنظر ، فإنها لم تكن سوى ظلال شاحبة لقدرات الآلات التى نمتلكها الآن . وكما أن الغالبية العظمى من مختلف الاختراعات العلمية قد تمت فى القرن العشرين ، كذلك يمكن القول بأن مختلف التطويرات الروبوتية بالمفهوم العلمى الصحيح قد تمت فى هذا القرن .

التطور التقنى للروبوتات عبر سنوات القرن العشرين :

يرتبط تطور التقنيات الروبوتية خلال سنوات القرن العشرين ارتباطا وثيقا بالتطورات الهائلة فى علوم الإلكترونيات والحواسيب والميكانيكا والذكاء الاصطناعى والرياضيات . ويصعب الفصل بشكل واضح بين هذه المجالات وبين بعضها البعض فيما أسهمت به من تطوير للروبوتات بالصورة التى نعرفها الآن .

وقد يكون من المفيد التعرض فى هذه المقدمة لنقاط الانطلاق الأساسية التى عبرتها البشرية فى تلك المجالات وصولا للتطبيقات الروبوتية الحديثة .

حدثت فى بداية القرن العشرين طفرة عظيمة فى شكليات الرياضيات ، والشعور بأن كل شيء يمكن تكميته وحسابه ، وهو شعور لم يشارك فيه بالطبع سوى قليل من أساتذة الرياضيات . ولقد نتج عن هذا الأسلوب لترميز وصياغة الرياضيات أن نشر « برتراند راسل » و « ألفريد نورث هوايتهيد » كتابهما Principia Mathemactica (أصول الرياضيات) الذى توالى صدور أجزائه الثلاثة بين عامى ١٩١٠ – ١٩١٣ . ولقد قاما بتطبيق كل من البصائر المنطقية والرياضياتية لتطوير منطق « الأسلوب المنهجى للتفكير وحل المسائل » ، الذى أصبح الأساس لغالبية الأعمال والأفكار المنبثة فى التقدم الحضارى بصفة عامة ، وفى منطق الصناعات المعلوماتية بصفة خاصة . وينبنى منطق كتاب « أصول الرياضيات » على عمليتين أساسيتين : « و » And – المستعملة لوصل « بتات » المعلومات معا ، و « النفى » Not – المستعملة لرفض انتماء أحد « بتات » المعلومات إلى بت آخر (« البت » وحدة المعلومات فى الذاكرة الحاسوبية) .

وفى النظرية الإلكترونية ، التى بدأ تطويرها فى ثلاثينيات وأربعينيات القرن الحالى ، كانت التطويرات الجوهرية التى تمت فى « نظرية التحويل » والتى شكلت الأساس للانتقال من الأنابيب (الصمامات) إلى الترانزستورات ، ثم إلى الرقاقات فيما بعد ، هذه التطويرات هى التى استعملت كمشغلات أساسية فى نظم التحكم فى صورة « بوابات – و » And- Gates و « النفى » Not أو « بوابات – أو » Or-Gates .

وكانت التطورات فى الإلكترونيات مرتبطة بالتطورات فى الحواسيب ، وهى التى كانت جارية بفضل أستاذ الرياضيات « جون فون نويمان » وأستاذ المنطق « ألان تورينج » ، وكلاهما كمنت عبقريته وراء ظهور آلات حاسبة على أسس إلكترونية . ولقد ترابطت رياضيات « فون نويمان » ترابطا جيدا مع المنطق والرياضيات التى

تطلبها أساتذة الالكترونيات النظرية . وقام تورينج بأعظم إسهاماته فى الحواسيب حين وضع نظريته « قابلية الحوسبة » computability .

وهناك إسهام مرتبط بتقنية المعلومات ، هو الذى قام به « كلود شانون » (فى عام ١٩٨٤ بمعامل بل) والذى أثر تأثيرا مباشرا فى مجالين مختلفين من مجالات الصناعة . فمن ناحية ، كان له تأثيره على الكيفية التى تصنع بها الحواسيب ، والكيفية التى تعمل بها الإلكترونيات ، والكيفية التى تفسر بها الآلة الإشارات والأوامر الداخلة إليها ، وذلك باختيار « البت » bit وحدة للمعلومات . ومن الناحية الأخرى ، كان له تأثيره على التطوير الشامل لتقنيات الاتصالات والاتصال عن بعد فى « النظرية الرياضياتية للاتصال » التى طورها ونشرها فى عام ١٩٤٨ (Shannon's Papers) .

وفى منتصف الخمسينيات ، شعر « هربرت سيمون » ورواد مبكرون آخرون فى مجال الحواسيب أنه من اللازم إيجاد شىء أفضل لاستخدام الحواسيب من مجرد استعمالها فى معالجة الأعداد . وعلى ذلك ، فقد تم فى الولايات المتحدة الأمريكية فى عام ١٩٥٦ افتتاح مختبر (معمل) الذكاء الاصطناعى فى كلية دارتموث تحت إشراف « مارفن مينسكى » . وفى عام ١٩٥٧ ، بدأ تصغير المكونات الإلكترونية مع اختراع الترانزستور . وعملية التصغير هذه لها مغزاها المهم ليس فقط فى مجال الإلكترونيات بل وفى العُدَد والأجزاء الميكانيكية التى تصنع حاليا . لقد أصبحت العُدَد أعظم دقة مما كانت عليه من قبل ، وأصبحت التفاوتات tolerances المسموح بها تقاس بالميكرونات بدلا من المليمترات ، كما أن سرعات الحواسيب أصبحت تقاس بالنانو ثوانى (واحد على ألف مليون من الثانية) ، وأصبح من الممكن وشم آلاف الترانزستورات فى كل رقاقة سليكون . والحدث التالى ذو المغزى هو الاعتراف الأكاديمى بالذكاء الاصطناعى الذى تحقق بتطوير مختبر الذكاء الاصطناعى فى معهد « ماساشوستس » التقنى عام ١٩٦٥ تحت إشراف « مينسكى » ، وافتتاح مختبر مماثل فى جامعة « ستانفورد » فى الوقت نفسه تقريبا . ولكلا المختبرين نفس الهدف – وهو تطوير مفاهيم ونبائط قادرة على الرؤية والتحرك والمناولة اليدوية والذكاء . وبمعنى آخر ، فإن الهدف هو تطوير وسيلة مستقلة يمكنها أن تؤدى وظائفها فى العالم « الواقعى » ، وليس فى العالم التجريدى الذى تستخدم فيه الحواسيب . وكان لتصنيع رقاقات السليكون فى الأعوام المبكرة من الستينيات أثره الواضح فى ظهور أول حاسوب دقيق فى عام ١٩٧٥ .

وفى صيف ١٩٧٩ ، تحقق فى الولايات المتحدة الأمريكية حدث مهم بصدور مجلة Robotics Age (عصر الروبوتيات) . وكانت الصفحات الست والستون للعدد

الأول من المجلد الأول تشتمل على موضوعات مثل التحكم في السرعات الرقمية ، والرؤية الروبوتية ، والروبوتات اللاعبة للشطرنج ، والروبوتيات فى الاتحاد السوفيتى . وكان أحد أبوابها مخصصا لمسابقة بين القراء ينافسون فيها على اقتراح أشياء نافعة يمكن أن تؤديها الروبوتات أو يتوقع أن تؤديها فى المستقبل .

وفى الثمانينيات ، عرض اليابانيون على العالم الإمكانات التى يمكن أن تؤديها الروبوتات الشخصية ، أو المنفردة الغرض ، من أجل تحسين الإنتاجية فى مؤسسات التصنيع .

يتبين من العرض السابق أن صناعة الروبوتات لا تعتمد فى حد ذاتها على نظرية علمية جديدة أو على تقنيات جديدة تتجاوز تلك التى تطبقها بالفعل نظم المعلومات والعمليات الإنتاجية المتقدمة التى سادت سنوات القرن العشرين . والوضع الراهن للروبوتات ليس نتيجة اكتشافات نظرية أو تقنيات جديدة . فالروبوت لا يعتبر شيئا جديدا أكثر من كونه كيانا تكامليا منسقا يجمع بين الحواسيب والتقنيات الكهرميكانيكية ، أى أنه استمرار للثورة التى بدأتها الحواسيب والنبائط التى طورت لزيادة قدرات العقل البشرى . وهذا التكامل المتجانس يشير إلى أن الروبوت هو مفتاح التحول من المجتمع الصناعى إلى المجتمع ما بعد الصناعى ، لأنه يؤلف بين نتائج المجتمع الصناعى المتمثلة فى إمكانات المناولة وبين كيان ميكانيكى له إمكانات تتجاوز مجرد القدرة على المناولة .

لقد ساد القرن العشرين نوعان من الاقتصاد ، أولهما الاقتصاد الصناعى الذى أنتج الكثير من الآلات الفيزيائية الرائعة التى تغلغلت فى جميع نواحى النشاط الإنسانى ، وثانيهما اقتصاد المعلومات الذى أنتج جميع أشكال الآلات الذهنية . وجاءت الروبوتات لتستفيد من إنجازات هذين الاقتصادين معا ولتقرن بينهما فى نوع جديد من الاقتصاد ينتظر له أن يسود سنوات القرن القادم .

ولعل أهم ما قدمته الروبوتات من إنجاز حضارى فى القرن العشرين هو اكتشاف أو إدراك أنه على حين يمكن لآلة « عقلية » صرف (الحاسوب ، مثلا) أن تؤدى جميع أشكال الأعمال الحسابية والعديد من العمليات المنطقية ، فإن ما تفتقده هذه الآلة إنما هو الجسم الذى يحتويها ويمكّنها من أن تستشعر ذاتيا البيئة المحيطة بها ، وأن تتخذ قرارات قائمة على الاستجابة لمتغيرات هذه البيئة .

لقد كان الهدف الأول للروبوتات هو تطوير مناول عام ذكى . وقد شاركت فى هذا التطوير شركات عديدة قامت فى أول الأمر بابتكار نبائط عديدة مفردة الوظيفة ، مفردة البرنامج ، ولها قدرات محدودة على المناولة .

وقد أصبحت هذه النبائط فيما بعد جزءا من النبائط متعددة الأغراض . فرغم الفائدة الاقتصادية للروبوتات مفردة الوظيفة ، فإن الآلة التى لا يمكنها إلا أن تلحم أو تطلى فقط ليست سوى آلة تفتقر فى حد ذاتها إلى المغزى الروبوتى . وقد انتشرت الروبوتات مفردة الوظيفة ، التى تثبت بمسامير على أرضية المصنع وتؤدى شيئا واحدا أداء جيدا ، فى مختلف مجالات الصناعات الهندسية والإلكترونية .

ونظرا لكثرة ما أنتج من الروبوتات الصناعية مفردة الوظيفة ، فلن يمكننا فى هذه المقدمة سوى استعراض أمثلة قليلة ، وإن كانت معبرة ، عن أهم الشركات وأهم الروبوتات التى ظهرت فى الأسواق خلال هذا القرن .

تأتى شركة « يونيماشن » "Unimation" الأمريكية فى مقدمة الشركات المنتجة للروبوتات الصناعية . والروبوت « بوما » Puma الذى تنتجه الشركة يدار بموتورات كهربائية ، وهو ما يلزم لضمان دقة التشغيل . وتعد شركة « جنرال موتورز » GM من أوائل مستخدمى هذا الروبوت فى مصانعها . ويجرى التحكم فى كل وصلة من وصلات هذا الروبوت بواسطة رقاقات حاسوبية مصغرة (ميكروكمبيوتر) .

أما شركة « آى . بى . إم » IBM فقد أنتجت روبوتا يطلق عليه Rs-1 لاستخدامه فى أعمال التجميع بالمصانع ، ويمكن التحكم فيه بواسطة الحاسوب الشخصى IBM من خلال البرمجة بلغة التصنيع « إيه . إم . إل » AML وبلغة التحكم الخاصة بالروبوت .

ويعتبر « إنتلدكس – ٦٠٥ » Intelledex, Model 605 طرازا آخر للروبوتات ، وهو يختلف عن سابقيه فى كونه ليس مجرد ذراع ميكانيكية ، بل يمكنه تكرار الحركات التى تعلمها بدقة تصل إلى ٠,٠٠١ من البوصة . وهذا المستوى من الدقة (وأكثر منه) مطلوب لأعمال التجميع الإلكترونية . ويمكن لهذا الروبوت أن يتحسس طريقه فى حدود ٠,٠٠٢ من البوصة بواسطة نظام متكامل للرؤية ، وهو مبرمج بلغة « بيسك » BASIC وله مقدرة على تحديد وضعه ذاتيا على أرضية المصنع . ويمكنه كذلك تأدية مهام متعددة ومناولة أثقال متنوعة .

وعلى أية حال ، فإن غالبية الروبوتات الصناعية التى كانت تستخدم حتى أواخر السبعينيات من هذا القرن هى من النوع ذى الوظيفة الواحدة . غير أنه فى السنوات الأولى من الثمانينيات بدأت شركات عديدة إنتاج روبوتات متعددة الأغراض عُرفت باسم الروبوتات الشخصية . وقد أنتجت هذه الروبوتات فى أجزاء مفككة جاهزة للتجميع أو تامة التجميع ، وتتميز بمقدرة محدودة على المناورة وقابلية

البرمجة . وبالرغم من أن البرامج الجاهزة الخاصة بهذه الروبوتات ما زالت ذات طابع تجريبى فى الغالب ، فإن لها تطبيقات عديدة فى المنزل وفى المدرسة وفى العمل ، وفى أغراض الترفيه والتسلية .

وتمر الروبوتات الشخصية حاليا بمرحلة شبيهة بتلك التى مرت بها الحواسيب الشخصية في منتصف السبعينيات من القرن العشرين ، حينما كانت هذه الحواسيب متاحة ، إلا أنها تفتقر إلى مبررات الاستخدام وإلى البرامج الجاهزة اللازمة للاستفادة من إمكاناتها . ففى عام ١٩٧٦ عقد أول مؤتمر عن الحواسيب الشخصية فى مدينة « البيكويرك » بنيومكسيكو .

وكان الشعور السائد بين هؤلاء الذين لم يكن تعنيهم الحواسيب الشخصية إنما هو شعور أقرب إلى السخرية والاستخفاف ، وتساءلوا بينهم « ما الذى يمكن أن نفعله بحاسوب شخصى ؟ » .

وبعد انقضاء ثمانية أعوام ، أصبحت الحواسيب الشخصية صناعة تُستثمر فيها عدة بلايين من الدولارات سنويا ، ولم يعد هناك مجال للتساؤل عن جدوى استخدامها .

وها هو التاريخ يعيد نفسه ، هذه المرة ، إذ عقد فى عام ١٩٨٤ ، أول مؤتمر فى العالم عن الروبوتات الشخصية فى نفس المدينة « البيكويرك » ، حيث جدد المتشككون تساؤلاتهم ، « وما الذى يمكن أن نفعله بروبوت شخصى ؟ » .

وتُنبئنا المقدمات ، بأن ما آل إليه أمر الحواسيب سوف يؤول إليه أمر الروبوتات . إذ ستصبح الروبوتات ، على وجه العموم ، والروبوتات الشخصية على وجه الخصوص ، صناعة تستثمر فيها بلايين الدولارات مع حلول القرن الحادى والعشرين ، وأنه فى خلال أعوام قليلة ستكون المعرفة بالروبوتيات لازمة للبقاء الاقتصادى لزوم المعرفة الحالية بالحواسيب .

وشواهدنا على ذلك ، أن السمات الجوهرية التى تتميز بها الروبوتات تجعلها مؤهلة للقيام بدور رئيسى فى ملحمة المجتمع ما بعد الصناعى « الناشىء » الذى نشارك جميعا فى شهوده . إذ ينبنى هذا المجتمع على تقنيات « المعلومات » (الحقائق ، والمعرفة ، ومعالجة البيانات) التى تزيد من إمكاناتنا العقلية باستعمال الحواسيب ، وعلى سبر أغوار « الفضاء » باعتباره أملا للبشرية فى مستقبل أرحب . والروبوتات هى الوسيلة الرئيسية التى سيتحقق من خلالها مجتمع المعلومات ، فهى السبيل إلى مصانع الغد المؤتمتة ، وإلى استعمال وتطوير المعلومات كوسيلة للحياة ،

وإلى استكشاف الفضاء الخارجي واستغلاله اقتصاديا ، حيث يجرى توجيه الطاقات البشرية إلى أعمال يقل فيها المجهود العضلى وتزداد فيها لمحات الإبداع العقلى .

وقد بدأت شركات عديدة فى إنتاج روبوتات شخصية على المستوى التجارى فى السنوات الأولى من ثمانينيات القرن العشرين . وكانت هذه الروبوتات من النوع متعدد الأغراض القادر على المناورة والقابل للبرمجة - بالرغم من أن التقنية الروبوتية كانت لا تزال تمر بمرحلتها المبكرة . وقد توافرت هذه الروبوتات فى الأسواق الأمريكية بصورة مفككة أو مجمعة بأسعار بلغت ١٠٠٠ دولار للروبوت الواحد من النوع البسيط ، ونحو ٦٠٠٠ دولار للروبوت الذى يتميز بقدرات أكبر .

ورغم الطابع التجريبى الذى تميزت به البرامج الجاهزة الخاصة بهذه الروبوتات ، فإنها وجدت لها تطبيقات متعددة فى المنازل والمدارس ، وفى الترفيه والتسلية ، وأحيانا فى بعض الأعمال التجارية .

وقد مرت صناعة الروبوتات الشخصية بتطورات كبيرة عبر السنوات الأخيرة من القرن العشرين .

وتزود معظم الروبوتات الشخصية بقدرات استشعارية تجعلها قابلة للاستجابة للبيئة الخارجية . وهذه الروبوتات قادرة (عند توفير البرامج الجاهزة المناسبة) على عمل خريطة « للأماكن » (غرفة على سبيل المثال) ، وعلى « تحسس » طريقها عند التجوال ، وذلك باستخدام محولات الطاقة السونارية ، والصمامات الثنائية (الدايودات) الضوئية ، والمستشعرات التلامسية ، ومستشعرات الضوء والصوت والحركة .

ويمكن للروبوت الشخصى تأدية أى عدد من المهام المفيدة إذا استطاع التمييز بين الضوء والظلام ، وبين وجود الأصوات وغيبتها ، وبين وجود العوائق والخلو منها .

وبتمييز الروبوت بين الضوء والظلام ، من الممكن برمجته (تزويده بالتعليمات وبخطوات تنفيذها) لتأدية أشياء مختلفة ومتعددة ؛ مثل العمل فى أثناء النهار و « النوم » بالليل ، وإضاءة أو إطفاء أضواء المنزل وفقا للظروف ، وإيقاظ القاطنين بالمنزل فى الصباح ، وما أشبه .

ويمكن تشغيل الروبوت ، القادر على التمييز بين وجود الأصوات من عدمه ، بالصوت البشرى ؛ إذ يمكنه الاستجابة للأصوات التى يسمعها عن طريق التخاطب ، كما يمكنه الاستجابة لطارق على الباب والترحيب بالضيوف . ويمكن للروبوت كذلك

القيام بدور كلب الحراسة ، والخفير ، والحارس ؛ كما يمكنه تسلية الزوار بالغناء لهم . كذلك يمكن الاستفادة منه فى مساعدة الأطفال على التهجى ، وما أشبه .

ورغم توفير القدرات السابقة فى روبوتات القرن العشرين ، فإنه ينظر إلى مستشعراتها بغير كثير من الرضا . وما يصدق عليها ، يصدق أيضا على الروبوتات الصناعية . إذ لم تتطور بعد تقنية هذه المستشعرات بالقدر الكافى على المستوى التجارى .

كذلك فإن التعرف على الأشكال والأنماط لا يزال يمر بمراحل تطوره المبكرة . ويمكن للروبوتات الشخصية اكتشاف الأشياء الساكنة والمتحركة (وهو نوع من الإدراك وشكل من أشكال الإحساس بالكتلة) ، كما يمكنها تحديد مدى الأغراض الواقعة فى مجال بيئتها الاستشعارية ، وذلك باستخدام الأنواع المتاحة من المستشعرات .

ويمكن ، على وجه العموم ، استثناء الروبوتات العسكرية والفضائية من الحكم السابق القائل بتواضع إمكانات المستشعرات الخاصة بها . حيث جرى تطوير مستشعرات عظيمة المقدرة والتنوع عبر سنوات القرن العشرين ، إلا أن أسعارها بالغة الارتفاع . فعلى سبيل المثال ، نجد أن شبكة واحدة من شبكات « الرادار » العسكرية تتكلف نحو عدة ملايين من الدولارات . وهذه الشبكة مهيأة بحيث يمكنها « رؤية » وتتبع مسار غرض فى حجم البرتقالة يبعد مسافة تزيد على ٣٠٠٠٠ ميل . ومن المنتظر هبوط أسعار هذه المستشعرات بشدة عندما تبتكر لها استعمالات على المستوى الكمى فى التطبيقات الروبوتية ، وعندما يرفع عنها الحظر العسكرى .

أما فيما يختص بمقدرة الروبوت على التكلم ، فقد شهدت سنوات القرن العشرين تطورا كبيرا فى هذا المجال ، إذ تمكن بعض المنتجين إدخال وحدات لتخليق مقاطع « الحديث » الصوتية ، من طرازات مختلفة ، فى الروبوتات بحيث يمكنها التكلم .

كما أمكن ، وبدون صعوبة كبيرة ، إعطاء الروبوت المقدرة على الكلام بأى لغة من اللغات الأساسية ، ولو أن التعرف على حديث الغير (البشر) لا يزال يمثل تحديا كبيرا لمنتجى الروبوتات الشخصية .

وأما فى مجال الحركة والقيادة ، فتستخدم غالبا المحركات الكهربائية المقترنة بنظام اتجاهى شامل ذى عجلات ثلاثية . ويمكن للروبوتات العمل بدون توصيل مباشر ومستمر بمصدر تغذية خارجى ، وذلك عند تزويدها ببطاريات قابلة لإعادة

الشحن . ويمكن للروبوت أن يكتشف ذاتيا تدهور شحنة البطاريات ، فيطلب من المحيطين به إعادة شحنها ، أو يتجه (بعد بحث) إلى أقرب مأخذ (مقبس) كهربائى وتوصيل نفسه توصيلا ذاتيا به لإعادة شحن البطاريات . كما أمكن إنتاج بعض الروبوتات المزودة بخلايا كهرضوئية يمكنها تزويد الروبوت بالطاقة الكهربائية المستمدة من الشمس .

وقد تطورت آليات الحركة الروبوتية تطورا كبيرا بفضل الاستخدامات الفضائية . إذ يمكن للروبوتات ، عند تزويدها بآلية تنقل ملائمة ، التحرك على الأسطح المستوية ، والتنقل أيضا عبر العوائق بالوثوب عليها ، أو تسلق الدرج (السلالم) .

وقد جرى كذلك تطوير الروبوتات من ناحية المقدرة على الإمساك بالأشياء . إذ يمكن للروبوت الشخصى ، بحسب متانة آليته القابضة ، التقاط أجسام قد يزيد وزنها على كيلو جرام واحد . كما أمكن تطوير ذراع روبوتية يمكنها الدوران حتى ٢٥٠ درجة مع إدارة المعصم فى حدود ١٨٠ درجة .

وتبذل حاليا مجهودات ضخمة لإدخال عنصر الذكاء الاصطناعى فى الأداء الروبوتى ، مما سوف نتعرض له فى حينه عند الحديث عن مستقبل التقنيات الروبوتية .

تسويق وتجارة الروبوتات فى أواخر القرن العشرين :

لم يكن يوجد سوى ١٥٠٠ روبوت عامل فى الصناعة الأمريكية بنهاية عام ١٩٨٠ ، ثم قفز عددها إلى ١٥٠٠٠٠ عام ١٩٩٠ ، على حين زاد استخدام اليابان من الروبوتات فى نفس الفترة من ٧٧٠٠ إلى ٥٠٠٠٠٠ . وقد قابل ذلك نمو فى حجم السوق الروبوتية فى أمريكا من مائة مليون دولار إلى ٢٠ بليون دولار ، وفى اليابان من ٣ بلايين دولار إلى ٢٠٠ بليون دولار .

ويعطى ذلك مؤشرا واضحا عن نمو تجارة الروبوتات بشكل مطرد فى أواخر القرن العشرين .

وتقدر التوقعات الخاصة بنمو السوق الروبوتية عام ٢٠٠٠ إنتاج مليونى روبوت تبلغ استثماراتها ١٠٠ بليون دولار فى السوق الأمريكية وحدها . ويقابل ذلك إنتاج ٢٠ مليون روبوت باستثمارات قدرها ٢٥٠ بليون دولار فى السوق اليابانية .

ويلاحظ من الأرقام السابقة ، أن الإنتاج اليابانى يعادل تقريبا ١٠ أمثال الإنتاج

الأمريكى فى الصناعات الروبوتية ، على حين تزيد الاستثمارات اليابانية على مثيلتها الأمريكية بما يقارب ٢,٥ مثل فقط . ويرجع هذا إلى الاختلاف القائم فى أسلوب تحقيق الربح بين البلدين . إذ تأسست الإنتاجية الأمريكية على تحقيق الربح عن طريق الإنفاق السخى وتعدد المبيعات ، بينما تأسست الإنتاجية اليابانية على تحقيق ذلك عن طريق التحكم الصارم فى الإنفاق وحيازة نصيب مضمون من السوق .

وقد يصلح الأسلوب الأول فى وجود مناطق تتمتع بمصادر طبيعية وفيرة ، إلا أن الأسلوب الثانى يبدو مناسبا فى ظروف تتزايد فيها التكاليف وتندر المصادر وتحتدم المنافسة فى الأسواق الداخلية والخارجية .

ورغم التوقعات السابقة لحجم الاستثمارات الروبوتية فى كل من أمريكا واليابان ، والتى بنيت على طرق استقرائية بسيطة ، فإن خروج الإنتاج الروبوتى من الحيز الإقليمى إلى أقطار العالم المختلفة ، سوف يؤدى بالضرورة إلى ازدياد شدة المنافسة بالقدر الذى سوف يحدث بالتأكيد تجانسا أكبر بين حجم الاستثمار وحجم الإنتاج فى كلا البلدين .

وقد يعنى ذلك بالنسبة للعديد من الدول العربية إمكان الاعتماد على المنافسة الدولية وعدم الاحتكار فى الحصول على منتجات روبوتية بأسعار أكثر انخفاضاً ، مما يوسع من دائرة الأقطار العربية المستخدمة للروبوتات . والذى لا شك فيه ، أن الأسواق العربية سوف تشكل فى المستقبل القريب محفزاً نشيطا لرفع الكفاءة الاقتصادية للإنتاج الروبوتى بدافع رغبة الدول الصناعية المنتجة للروبوتات فى الاستحواذ على السوق العربية .

لقد كان لليابانيين فضل الريادة فى الاستخدام واسع الانتشار للروبوتات الصناعية متعددة الوظائف ، حيث أظهروا كفاءة عالية فى زيادة الإنتاجية وتحسين الأداء الاقتصادى باستخدام هذه الروبوتات . ومنذ ذلك الحين ، والصناعة الأمريكية تحاول اللحاق بهم ، وتشاركها فى ذلك الصناعة الفرنسية والألمانية .

ورغم عدم انتشار الروبوتات الصناعية فى الأسواق الأمريكية بالقدر نفسه الذى تنتشر فيه هذه الروبوتات فى اليابان ، فإن الصناعة الأمريكية تتميز بتحقيق العديد من الاكتشافات المتعلقة بالتقنية الكهرميكانيكية للروبوتات . وتوجد حاليا نحو مائة شركة أو أكثر متخصصة فى إنتاج الروبوتات داخل الولايات المتحدة ، ومنها عدد من الشركات كان يعمل أصلا فى مجال الحواسيب . فشركة « آى . بى . إم » IBM ، على سبيل المثال ، لها برنامج بحثى طويل الأمد فى هذا المجال . وتعتبر لغة البرمجة (الخاصة بالروبوتات الصناعية) AML ، التى ظهرت عام ١٩٧٥

لاستخدامها على الحاسوب الشخصى IBM ، من أهم منتجات هذه الشركة . كما تعتبر شركة « يونيماشن » Unimation فى مقدمة منتجى الروبوتات الصناعية . ويوجد لهذه الشركة أكثر من ٥٠٠٠ روبوت تعمل فى أنحاء العالم ، هذا بالإضافة إلى الروبوتات التى أنتجتها الشركة والتى تعمل داخل الولايات المتحدة الأمريكية (١٥٠٠٠٠ روبوت) .

وبالرغم من وجود عدد من الشركات الصانعة التى أنتجت روبوتات شخصية على المستوى الكمى ، فإن استخدام الروبوتات فى الصناعة هو الأكثر انتشارا فى الوقت الحاضر ، حيث تستخدم الروبوتات لإجراء عمليات اللحام ، ولصب قوالب التشكيل ، وتحميل مكنات التشغيل ، وَرَشِّ الدهانات (كما فى صناعة السيارات) ، والرفع الثقيل ، والقيام بالمهام الخطرة فى محطات الكهرباء النووية والمناجم ، بالإضافة إلى العديد من العمليات الأخرى .

أما بالنسبة للروبوتات الشخصية ، فقد اتخذت نماذجها المبكرة شكل السلحفاة أو الفأر ، وذلك على سبيل التجربة . ومن أحد أمثلتها ؛ سلحفاة « الترابين » Terrapin Turtle التى ظلت مستخدمة لعدة أعوام منذ أن صنعها أحد طلبة معامل « معهد ماساشوستس التكنولوجى » للذكاء الاصطناعى . وحينما نتحدث عن الإنتاج الكمى المؤهل لغزو الأسواق ، فيمكننا أن نبدأ بالروبوتات الثلاثة الشخصية (المنزلية) التى نزلت الأسواق بين عامى ١٩٨٣ و ١٩٨٤ .

ومن أوائل هذه الروبوتات « هيرو -١ » (HERO-1) ، الذى يعد أول روبوت منزلى تجارى تم تسويقه فى يناير ١٩٨٣ ، وكان من إنتاج شركة « هيث » (HEATH) . ويزيد طول هذا الروبوت على ثلاث أقدام ، وهو كبير الوزن نسبيا ، ويمكنه أن يتحرك وأن يتحسس طريقه ، وهو مزود بآلية ذات ذراع وقابض يمكنها التقاط وإحضار الأشياء الصغيرة . ويمكنه كذلك أن « يسمع » الأصوات وأن يستجيب لها إلى حد ما ، بفضل ما زود به من ميكروفونات ومستشعرات الموجات فوق الصوتية . وهذا الروبوت قادر أيضا على أن يتكلم ويغنى . وقد بيع « هيرو - ١ » فى صورة أطقم مفككة قابلة للتجميع بنحو ١٥٠٠ دولار أمريكى ، كما بيع مجمعا بنحو ٢٥٠٠ دولار أمريكى . وبالرغم من أن الروبوت مزود بحاسوب داخلى قابل للبرمجة بلغة « هيكس » (HEX) ، وهى لغة شفرية على مستوى الآلة ، فإن عددا من المنتجين الآخرين استنبطوا له وصلات بينية بحيث يمكن برمجته بلغة « بيسك » (BASIC) باستخدام أى نوع من أنواع الحواسيب الشخصية الشائعة ، وليكن « أبل » (APPLE) على سبيل المثال .

وقد باع « هيث » فى عام ١٩٨٤ أكثر من ١٠٠٠٠ روبوت من روبوتاته ، مما جعله من رواد الصناعة الروبوتية داخل الولايات المتحدة الأمريكية . ويوجد حالياً فى العالم من روبوتات « هيث » ما يفوق من حيث العدد أى نوع آخر من الروبوتات الشخصية .

وقد يصبح « هيث » فى مجال الروبوتات فى مكانة « آى . بى . إم » (IBM) فى مجال الحواسيب .

وقد واصل « هيث » إبداعاته ، فأنتج فى عام ١٩٨٤ الطراز « هيرو ج . آر . » JR HERO ، وهو روبوت غير قابل للبرمجة ، إذ أنه مزود « بأنماط شخصية انتقائية » ، أى أن له وظائف انتقائية سابقة البرمجة . ويبلغ سعر هذا الروبوت ١٠٠٠ دولار أمريكى .

ولم يمض أسبوعان على إنتاج « هيرو - ١ » حتى قامت شركة آر . بى . (RB) للروبوتات بتسويق الروبوت (RB5X) . وطول هذا الروبوت أقل من قدمين ، ويزن ٢٦ رطلا ، أى نصف وزن « هيرو - ١ » تقريبا ، ويمكن تزويده بوحدة ذات ذراع يمكنها رفع الأشياء الصغيرة التى يصل وزنها إلى رطل واحد . ويمكن للروبوت بواسطة مفاتيحه الصدمية والسونارية (الصوتية) التعرف على طريقه فى داخل إحدى الغرف . والروبوت مزود أيضا بجهاز للتعرف على الأصوات وبتوصيلة ذات مكنسة شفاطة وبوصلة لتحديد الاتجاه .

ويمكن للروبوت RB5X الغناء ولعب المباريات . وقد بيع منه نحو ٢٠٠٠ وحدة تقريبا بسعر ١٧٠٠ دولار أمريكى للروبوت الواحد . أما إذا أضيفت إليه الوحدات التكميلية ، مثل الذراع ، وجهاز التعرف على الأصوات ، ووصلة المكنسة الشفاطة ، فإن السعر يتضاعف .

وفى عام ١٩٨٣ ، قامت شركة « اندروبوت » (ANDROBOT) بإنتاج نموذجها الأول المعروف باسم « توبو » (Topo) . وخلافا للروبوتين « هيرو - ١ » و RB5X ، فإن الروبوت « توبو » لا يمكن برمجته إلا باستخدام حاسوب خارجى . وهو من النوع المشغل عن بعد . وقد تم تطويره فى عام ١٩٨٤ وبيع بسعر ١٥٠٠ دولار أمريكى للوحدة .

وقد أنتجت الشركة نفسها فى عام ١٩٨٤ الروبوت BOB/XA حيث لاقى انتشارا كبيرا وبيعت الوحدة منه بسعر ٢٥٠٠ دولار أمريكى . ويتميز هذا النموذج عن سابقيه بوجود ذاكرة داخلية سعتها ٣ ميجا بايت (البايت وحدة التخزين فى ذاكرة

الحواسيب) وبثلاثة معالجات دقيقة microprocessors داخلية (رقاقات وحدة التشغيل المركزية فى الحاسوب) .

ويمكن لهذا الروبوت المزود بآلية ذات ذراع وقابض ، أن يتجه إلى ثلاجة روبوتية مصممة خصيصا له ، وأن يفتح بابها ، ويحضر منها مشروبا مثلجا لسيده . ويستطيع أيضا إيقاظ شخص نائم ، ويمكنه – بواسطة مستشعراته التى تعمل بالأشعة تحت الحمراء – أن يتتبع أى غرض اختيارى موجود حوله ، كما يحدث على سبيل المثال عند مجالسة الأطفال فى غيبة ذويهم . ويمكن أيضا للروبوت أن يتكلم وأن يجيب الهاتف ، وأن يعطى إشارات تحذير ، الخ . أما الروبوت « جينوس » (GENUS) فقد أنتجته الشركة الدولية للروبوتيات ، وهو من أغلى أنواع الروبوتات سعرا ، إذ يبلغ ثمنه بأسعار ١٩٨٤ نحو ٥٠٠٠ دولار أمريكى . وتتضمن إمكاناته المقدرة على المشى ، والتحدث ، ولعب المباريات ، والغناء ، والقراءة ، وتنظيف الأرضيات .

وقد ظهر أيضا فى الأسواق فى عام ١٩٨٤ الروبوت « مارفن مارك – ١ » MARVIN MARK-1 من إنتاج شركة « إيوا » (IOWA) للروبوتيات الدقيقة . والروبوت مزود بحاسوب داخلى يماثل فى قدرته معظم الحواسيب الشخصية التى كانت شائعة فى ذلك الحين . ويستخدم فى هذا الحاسوب نظام التشغيل الشائع CP/M ، ويمكن برمجته بلغة « فورث » (FORTH) ، وهى من أفضل اللغات المستخدمة فى البرمجة الروبوتية فى ذلك الوقت . وتناسب هذه اللغة برمجة نشاطات المناولة الروبوتية ، وكذلك يمكن التعامل بها مع البرامج الجاهزة التى تحاكى الذكاء مرتفع المستوى لدى البشر ، والتى تعرف باسم « نظم الخبراء » .

ويتمتع الروبوت « مارفن مارك – ١ » بمجموعة من السمات الجذابة الأخرى ، مثل إمكان تحريك ذراعيه ذواتى المحاور الستة للإمساك بأغراض يصل وزنها إلى خمسة أرطال ، كما يمكن للذراعين التنسيق فيما بينهما عند القيام بالأعمال المعقدة التى تحتاج إليهما معا . وقد بيعت الوحدة من هذا الروبوت بسعر ٦٠٠٠ دولار أمريكى فى ذلك الوقت .

وقد أنتجت شركة « هوبوتكس » (HUBOTICS) فى النصف الأول من الثمانينيات الروبوت « هوبوت » (HUBOT) ، وهو أول روبوت منزلى يمكن اعتباره بحق صديقا شخصيا ، ومعلما ، ومضيفا ، وحارسا . ويمكن « لهوبوت » التحدث باستخدام معجم يحتوى على ١٢٠٠ كلمة ، ويمكنه أيضا تعليم الرياضيات

والهجاء ، ويحتوى فى داخله على حاسوب سعة ذاكرته ١٢٨ كيلو بايت ، وهو مزود بشاشة عرض ، ولوحة مفاتيح ، وطابعة ، وبرامج .

وقد تميزت فترة الثمانينيات أيضا بتشجيع هواة الروبوتات على تحقيق طموحاتهم بشأن تصميم وتجميع وحداتهم الروبوتية الخاصة . فظهرت فى الأسواق وحدات مفككة يمكن لهواة الآليات الروبوتية تجميعها بأنفسهم . كما ظهرت فى الأسواق مكونات الروبوتات من موتورات مختلفة القدرات لإدارة الآليات ، وملفات لولبية Solenoids ، ومفاتيح كهربائية ، ومستشعرات ، وآليات ذات ذراع وقابض مختلفة الأشكال ، بالإضافة إلى مجموعات متكاملة من معدات الحواسيب التى يمكن استخدامها فى الحصول على روبوتات قابلة للبرمجة وعلى درجة ما من الذكاء الاصطناعى . وقد زاولت نحو ١٠٠ شركة أمريكية نشاطها فى مجال توفير هذه الأعضاء الروبوتية لمن يطلبها .

ورغم هذا الانتشار الكبير نسبيا للآليات الروبوتية فى الدول الصناعية ، فإن الأسواق العربية لم تشهد حتى الآن ظهورا ذا بال لهذه التقنيات اللهم إلا ما جاء على سبيل المصادفة مع خطوط الإنتاج التى يجرى استيرادها كاملة فى بعض الصناعات ، مثل صناعة السيارات أو صناعة التعبئة والتغليف ، وبعض عمليات اللحام المتقدمة .

أما الروبوتات الشخصية غير الصناعية ، فهى أقل حظا فى الظهور فى هذه الأسواق . ولولا تحرى الدقة ، لحكمنا بانعدام وجود الروبوتات الشخصية والمنزلية بشكل مطلق فى الأسواق العربية .

مستقبل انتشار التقنيات الروبوتية فى العالم :

يتوقف مستقبل الروبوتية فى العالم على الكثير من المواهب الإبداعية لرواد ومهندسى الروبوتات، كما سيتوقف أيضا على كيفية استجابة المجتمعات على وجه العموم لما يتاح لها من الروبوتات الشخصية والصناعية .

ومن الواضح الآن أن الدول الصناعية بوجه عام قد أذهلتها المكاسب الإنتاجية التى حققتها الصناعة اليابانية نتيجة لاستخدام الروبوتات ، مما سوف يدفعها إلى الشروع فى تطبيق تقنيات متقدمة فى هذا المجال .

ويمكن التنبؤ فى ضوء المؤشرات الخاصة بإنتاج الروبوتات فى أوائل التسعينيات من هذا القرن ، بأن السنوات القادمة سوف تشهد زيادة هائلة فى إنتاج الروبوتات بوجه عام ، والروبوتات الصناعية بوجه خاص .

وإذا كانت ظروف السوق الانتقائية الصغيرة قد أملت على منتجى الروبوتات خلال السنوات السابقة إنتاج روبوتات لأغراض خاصة ولمهام محدودة ، فإن تكريس الاقتصاد بأكمله فى العديد من الدول الصناعية الكبرى للاتجاه نحو الروبوتات سوف يتطلب إنتاج روبوتات صناعية ذوات أغراض عامة يمكنها التلاؤم مع الأوضاع والظروف المختلفة .

ويمكن بسهولة التنبؤ بتطوير روبوتات صناعية متعددة الإمكانات فى المستقبل لاستخدامها فى مختلف الصناعات .

أما بالنسبة للروبوتات الشخصية ، فسوف تشهد هى الأخرى نموا هائلا مشابها ،.وإن جاء متأخرا ببضعة أعوام عن ثورة الروبوتات الصناعية . وسوف يمكن للشركة التى تستطيع إنتاج روبوت متعدد الأغراض والإمكانات ، وقابل للمواءمة ، واقتصادى ، أن تحدث ثورة فى الحياة الاجتماعية . إذ يمكن للشخص القادر ماديا استخدام بضعة روبوتات جيدة للقيام بوظيفة الحارس ، والسكرتيرة الشخصية ، والمرافق للأطفال ، والباحث ، والخادم ، والمسؤول عن تنظيم المواعيد والتنبيه بشأنها .

وبالنظر إلى أن الأدوات التى يستخدمها البشر فى تأدية حوائجهم اليومية قد تكون غير مناسبة لاستخدام الروبوتات لها ، فيمكن التنبؤ بظهور صناعة روبوتية جانبية تختص بتطوير الملحقات والمتعلقات التى يمكن للروبوتات استعمالها ، مثل المكانس والمواقد والغسالات والمجففات والثلاجات وأجهزة التليفزيون الروبوتية . وقد تتأثر أيضا وسائل النقل بهذا التطوير ، فتظهر المركبات (السيارات بأنواعها المختلفة) التى يمكن للروبوت قيادتها .

وقد أمكن خلال السنوات الأخيرة القيام بإنجازات كبيرة فى مجال تطوير الروبوتات لجعلها صالحة للعمل فى أجواء الفضاء الخارجى الخطيرة ، إلا أن العمل ما زال جاريا كذلك لتطوير روبوتات تؤدى الأعمال فى البيئات الخطيرة على سطح الأرض ، فى المناجم والمصانع الكيميائية والمفاعلات الذرية وعمليات صهر المعادن والأماكن المعرضة للإشعاعات الذرية والحرارية القاتلة .

أما تطوير الروبوتات الزراعية ، فقد قطع بالفعل شوطا كبيرا على طريق التقدم . فلقد أنتجت روبوتات يمكنها التمييز بين الأعشاب الضارة وبين النباتات الصالحة للغذاء ، مما يفيد فى مقاومة تلك الأعشاب وإبادتها . وقد أنتجت أنواع أخرى يمكنها أخذ عينات من التربة ، وقطف البرتقال ، وتصنيف التفاح الناضج .

ومن المنتظر أن تصبح الروبوتات الزراعية مجالا أساسيا لأعمال التطوير خلال السنوات القادمة .

وتعكف حاليا مجموعة من الشركات على تطوير روبوتات ذات طابع أمنى ، مثل الروبوتات التى تحل محل رجال المرور فى الشوارع المزدحمة أو التى تقوم مقام حراس السجون .

ومن المتوقع كذلك انتشار بعض التطبيقات الروبوتية ذات الطبيعة الخاصة المرتبطة ببيئة من البيئات . ومن الشواهد الدالة على ذلك ، ما تم ابتكاره فى استراليا من روبوتات يمكنها القيام بجز أصواف الأغنام .

ومن طرائف استخدام الروبوتات فى الأعمال الأمنية ، أن مدينة نيويورك الأمريكية منحت جائزتها الشهرية إلى روبوت يسمى RMI-3 . وكان هذا الروبوت قد ساعد فى إنهاء مواجهة استمرت ٢٠ ساعة بين الشرطة ورجال العصابات فى مدينة « الميرا » (ELMIRA,N.Y) ، وذلك عندما استخدم ذراعه فى فتح أحد الأبواب والدخول إلى المسكن الذى حوصر فيه المجرمون ، واستخدم آلته التصويرية فى تنبيه الشرطة إلى الوقت المناسب لاقتحام المسكن بأمان .

وسوف تشهد الفترة القادمة طفرة فى الإمكانات الروبوتية من حيث محاكاة بعض القدرات الإدراكية البشرية . ويمكن الحكم بوجه عام على أن العقبة أمام تطوير الذكاء الروبوتى لا تكمن أساسا فى تصميم البرامج الخبيرة التى يعكف عليها علماء الذكاء الاصطناعى ، وإنما تأتى العقبة من ناحية التقنية التى أصبحت عاجزة إلى الآن عن تطوير سعات وسرعات الحواسيب الشخصية حتى يمكنها استيعاب هذه البرامج وإصدار إشاراتها إلى الآليات الروبوتية للعمل فى الوقت المناسب .

فالبرغم من الحقيقة الواقعة ، وهى أن اكتشاف الرقاقات جعل من الممكن حشد آلاف من الترانزستورات على مساحة لا تتعدى جزءا من مساحة الترانزستور الواحد ، فإن هذه الضآلة ليست كافية بَعْدُ . فالخلايا فى المخ البشرى أصغر جدا من ذلك ، وهى أكثر تنوعا من أفضل ما عرف حتى الآن من دوائر الرقاقات .

وقد يأتى وقت تتضاءل فيه الرقاقات بحيث توضع فى داخل الذرات ذاتها ، أو تبتكر رقاقات عضوية ، وحينئذ يمكن حشد قدرة حسابية كافية فى حيز معقول ، وبذلك يمكن إلى حد ما تكرار ومحاكاة قدرة الخلايا العصبية فى المخ البشرى من حيث سرعة نقل الإشارات . وباختصار ، يمكن على أحسن الفروض فى الوقت الحاضر بناء روبوت يحس ويدرك بنفس قدرة المخ البشرى ، إلا أن هذا الروبوت

سيكون بالغ الضخامة ، بما يقارب حجم ملعب لكرة القدم ، وهذا لن يفيد فى شىء .

أما إذا أمكن ابتكار الرقاقات الذرية أو العضوية ، فسوف يمكن تكرار الخلايا العصبية الموجودة فى المخ البشرى داخل حيز مناسب بالروبوت ، وليكن فى حجم الرأس البشرى مثلا . وحتى ذلك الحين ، يجب التوصل إلى طرق فذة إما لتكرار أو لمحاكاة القدرات الاستشعارية والإدراكية البشرية .

ولا يقتصر الأمر على ضرورة تطوير قدرات الذكاء الاصطناعى لدى الروبوت خلال السنوات القادمة ، وإنما يتعدى ذلك إلى تطوير فائق للحواس الروبوتية . ولنضرب مثلا على ذلك ، ما يقوم به الإنسان ببساطة متناهية من بَسْط الزبد على سطح قطعة خبز . إذ يتطلب قيام الروبوت بهذا العمل فى المستقبل التغلب على عدد كبير من المشكلات . إذ أن ما نعرفه من آليات روبوتية حالية لا تملك سوى المقدرة على تحريك قبضتها وفقا لمسار محدد ، لابد وأن تحيل كلا من الخبز والزبد إلى فتات . ويتطلب بسط الزبد على الخبز إدخال تعديلات مستمرة على حركات الروبوت ، تعتمد على « تغذية مرتدة » من الحواس التى يستشعر بها الروبوت ما يدور حوله . فإذا ازدادت المقاومة على حد معين وجب تخفيف ضغط السكين على قطعة الخبز ، أما إذا كانت المقاومة أقل من هذا الحد فينبغى تغيير زاوية ميل السكين ، وهكذا . ويتطلب حساب الأسلوب الصحيح بصورة مسبقة القيام بقياسات دقيقة للزوجة الزبد ولخواص سطح الخبز ، واستخدام نموذج « عنصر متناه لاخطى » Nonlinear finite element يمثل عملية فرد الزبد على قطعة الخبز ، إضافة إلى بضع ساعات من وقت « حاسوب فائق » supercomputer من الطراز « كراى » (Cray) .

ويمكننا إدراك الطريق الطويل والشاق أمام منتجى وعلماء الروبوتات إذا عرفنا أن هذا الروبوت الذى يجرى تطويره حاليا فى مختبر « ج . س . روزنشاين » فى مركز « بحوث تليوس » Teleos Research فى « بالو ألتو » بولاية كاليفورنيا ، هو واحد من أرقى ما توصلت إليه التقنية فى بحوث الذكاء الاصطناعى فى أواخر القرن العشرين .

ورغم أنه من المتوقع فى المستقبل القريب تطوير الروبوتات الصناعية والشخصية لتجد لها مكانا أرحب فى عالم القرن القادم ، فإن الباحثين فى مجال بناء آلات روبوتية تحاكى القدرات والإدراكات البشرية ما زالوا حتى الآن بعيدين عن محاكاة قدرات ذبابة ، « ضَعُفَ الطالب والمطلوب » .

الفصل الثانى

أساسيات التقنيات الروبوتية

أوضحنا فى الفصل الأول كيف أن الروبوتات التى تشاهد حاليا ما هى إلا نتاج التقدم الفكرى والتقنى عبر العصور المختلفة للحضارة البشرية ، وأنها تتويج لإنجازات القرن العشرين فى مجال الحواسيب والأتمتة والهندسة الميكانيكية .

ونريد أن نطلع القارىء فى هذا الفصل بصورة أكثر تفصيلا على الأسس العلمية والتقنية التى قام عليها إنتاج الروبوتات فى أواخر القرن العشرين ، مؤثرين الابتعاد قدر الإمكان عن التفصيلات العلمية والمعالجات الرياضياتية التى يشق على المثقف العادى الإحاطة بها ، نظرا لما تتطلبه من خلفية علمية وتقنية/لا تتوافر عادة إلا لدارسى العلوم الهندسية .

وسوف يجد القارىء فيما يلى معلومات عامة عن الروبوتات من حيث التعريف العلمى والمكونات والتصنيف الروبوتى ، مما يعتبر تمهيدا لازما للحديث عن هندسة الروبوتات . وقد استوحينا فكرة « الاندرويد » Android ، وهو الروبوت الذى جرى تصنيعه على هيئة بشرية ، لتكون أساسا للحديث عن الهندسة الروبوتية ، حيث تم الفصل بين هندسة الجسم الروبوتى وبين هندسة الرأس الروبوتى فى السرد المتتابع لأساسيات التقنيات الروبوتية . وقد وجدنا ما يبرر هذا الفصل من الناحية العلمية ، إذ تعتمد هندسة الجسم الروبوتى بشكل كبير على أساسيات الهندسة الميكانيكية ، على حين تعتمد هندسة الرأس الروبوتى على أساسيات الهندسة الإلكترونية والكهربية وعلوم الحواسيب .

ولكننا مع ذلك نريد أن نؤكد للقارىء أن هذا الفصل هو من ناحية المفهوم فقط ، ولا يتعدى ذلك إلى الهيئة الروبوتية ذاتها . فهناك العديد من التطبيقات الروبوتية التى يكون فيها الرأس الروبوتى فى أوضاع لا تتفق بحال من الأحوال مع الهيئة البشرية من ناحية اعتلاء الرأس للجسد ، كما أنه كثيرا ما يحدث الفصل بين أعضاء الاستشعار فى الروبوت وبين مكونات الرأس الروبوتى الأخرى ، وما إلى ذلك من تعديلات فى التكوين الشكلى للروبوت تقتضيها دواعى الاستخدام .

وسوف يشمل الحديث عن هندسة الجسم الروبوتى الأنواع المختلفة من التكوينات الميكانيكية ، ومحاور الحركة ، وكذلك نظم القيادة والتحكم فى الأعضاء ، وطبيعة تصميم الأطراف والأدوات والقوابض الروبوتية ، والمؤشرات المختلفة الخاصة بتقويم الأداء الحركى للروبوت .

أما هندسة الرأس الروبوتى ، فسوف يشمل الحديث عنها المقدرة الاستشعارية للروبوت ، مع شيء من التفصيل عن نظرية الإبصار الآلى لما لها من أهمية وطرافة فى تمكين الروبوت من استشعار وجود الأجسام وتحديدها قبل الوصول إليها . وسوف يشمل الحديث كذلك البرمجة واللغات الروبوتية وبعض نواحى الذكاء الاصطناعى والحواسيب .

التعريف العلمى للروبوت :

يوجد تعريفان علميان للروبوت . التعريف الأول وضعه المعهد الأمريكى للروبوتات Robot Institute of America ، وينص على أن الروبوت : « مناول قابل لإعادة البرمجة ومتعدد الوظائف ، وهو مصمم لتحريك المواد والأجزاء والأدوات ، أو النبائط الخاصة ، من خلال مختلف الحركات المبرمجة ، وذلك بهدف أداء مهام متنوعة » .

والتعريف الثانى وضعه الاتحاد اليابانى لصناعة الروبوتات الصناعية Japan Industrial Robot Industry Association ، وينص على أن الروبوت : « مكنة لكل الأغراض مزودة بنبيطة ذاكرة memory device وأطراف ، وهى قادرة على الدوران ، والحلول محل العامل البشرى بواسطة الأداء الأوتوماتى للحركات » .

ويتفق التعريفان فى عدة حقائق خاصة بالروبوت ، وهى :

١ - الروبوت مكنة أو مُناول متحرك .

٢ - الروبوت مصمم للقيام بوظائف متنوعة .

٣ - الروبوت يقوم بحركاته المختلفة بشكل أوتوماتى .

ويختلف التعريفان بعد ذلك فيما بينهما ، إذ يعطى التعريف اليابانى فرصة أكبر لضم بعض أنواع من آليات المناولة إلى طائفة الروبوتات ، حيث اختلف عن التعريف الأمريكى من حيث :

١ - عدم اشتراطه قابلية إعادة البرمجة ، ففتح الباب بذلك أمام المناولات اليدوية manual manipulators وهى التى يجرى تشغيلها وتحديد تحركاتها بواسطة العامل البشرى .

٢ - عدم اشتراطه البرمجة واقتصاره على النبيطة الذاكرة ، وهى أى وسيلة ميكانيكية أو كهربائية يمكن تصميمها لأداء تتابع مسبق التحديد من الحركات ،

فأضاف بذلك إلى الروبوتات المناولات التى تعمل بتتابعات ثابتة fixed sequence manipulators ، والتى يكون من الصعب تغيير نمط حركتها دون التدخل بإعادة ترتيب نبائطها التذكرية .

وقد نرى بذلك أن التعريف الأمريكى أكثر تعبيرا عن المفهوم الشائع عن الروبوتات فى الأوساط الهندسية بابتعاده عن إدخال المناولات البدائية فى المجال الروبوتى .

المكونـات الأساسيـة :

رغم التنوع الكبير فى التصميمات الروبوتية ، فإنه يمكن تحديد المكونات الأساسية لأى روبوت فيما يلى :

١ - **جذع الروبوت** ، وهو القائم الأساسى للروبوت الذى تتصل به أطراف الروبوت بواسطة محاور حركية ، كما تثبت إليه عادة وحدات التحكم الرئيسية والآليات الانتقالية ووسائل التغذية الكهربية .

٢ - **الأطراف** ، وهى بمثابة الأذرع البشرية للإنسان إلا أنها متعددة المفاصل بحسب التنوع الحركى المطلوب . ويتوقف نطاق عمل الروبوت على طول الأذرع ونوعية وعَدَد المفاصل .

٣ - **القوابض** ، وهى تناظر الكف لليد البشرية ، وتستخدم فى القبض على المشغولات أو الأدوات التى يستخدمها الروبوت فى إنجاز المهام الموكلة إليه .

٤ - **الأدوات** ، وهى وإن لم تكن تشكل جزءا ثابتا فى التكوين الروبوتى فإنها تصمم عادة لتلائم القوابض الروبوتية ونوعية الأعمال المطلوب القيام بها . وتتميز الروبوتات عادة بالتنوع الكبير فى الأدوات التى يمكن إضافتها إليها .

٥ - **المستشعرات** ، وهى النبائط التى يتعرف بها الروبوت على العالم المحيط به ، وهى بمثابة الحواس للإنسان . ويمكن للروبوت التعرف بواسطة المستشعرات على العوائق التى تقف فى سبيل حركته ، والتعرف كذلك على حدود الأجسام التى يتعامل معها ، وتحديد درجة الإطباق المناسبة على الأجسام التى يتناولها ، والإحساس بدرجات الحرارة والرطوبة وتسرب الغازات ووجود الأدخنة . كما يمكن للروبوت بواسطة المستشعرات تلقى الأوامر الصوتية والحوار مع مستخدميه .

٦ – **وحدات القيادة** ، وهى المحركات بأنواعها المختلفة التى تقود حركة المفاصل الروبوتية ، ويجرى تشغيلها بواسطة إشارات كهربية صادرة من وحدة التحكم .

٧ – **وحدة التحكم** ، وهى بمثابة الجهاز العصبى للإنسان ، إذ تتلقى الإشارات من العقل الروبوتى بعد تغذيته بإشارات المستشعرات وبرامج التشغيل ، وترسلها إلى وحدات القيادة لتشغيل الأطراف والقوابض الروبوتية .

٨ – **العقل الروبوتى أو الحاسوب** ، وفيه تختزن البيانات وبرامج التشغيل ، وتغذيه الإشارات الواردة من المستشعرات والأوامر الخارجية التى تصل إليه عبر وحدات التشغيل الطرفية . ويقوم العقل الروبوتى بمعالجة البيانات والإشارات السابقة وإصدار الأوامر المناسبة لوحدة التحكم .

٩ – **وحدة التشغيل الطرفية أو لوحة المفاتيح** ، وهى التى يتم بواسطتها نقل الأوامر ، وأحيانا البرامج ، من الشخص القائم على تشغيل الروبوت إلى الحاسوب . وقد تكون منفصلة تماما عن الروبوت وتصل أوامرها إليه بالاتصال عن بعد .

١٠ – **التجهيزات الخارجية المساعدة** ، وهى وإن لم تكن من المكونات الأساسية للآليات الروبوتية ، إلا أن غالبية الروبوتات يجرى تركيبها في خلايا ، وهذه الخلايا تمثل نطاق العمل للروبوت . ويجرى تزويدها عادة بآليات تثبيت أو مناولة وأجهزة إنذار وحواجز واقية لمساعدة الروبوت على إنجاز مهامه .

تصنيف الروبوتات :

تصنف الروبوتات بوجه عام إلى روبوتات صناعية وأخرى شخصية . وقد سبق وأوضحنا فى مقدمة الكتاب كيف أن الروبوتات الصناعية سابقة فى ظهورها وتطويرها على الروبوتات الشخصية بالمفهوم الحديث لظهور وتطور الروبوتات . ولو أن معظم البدايات الأولى للروبوتات من الناحية التاريخية يمكن اعتبارها أقرب ما يكون إلى ما نعرفه حاليا عن الروبوتات الشخصية .

والروبوتات الصناعية تشمل كل أنواع الآليات الروبوتية التى يجرى استخدامها بغرض إنجاز نشاط إنتاجي . وينتشر حاليا استخدام الروبوتات فى نحو ٧٠ نوعا من أنواع الصناعات الإنتاجية . وقد بدأ استخدام الروبوتات الصناعية أول ما بدأ فى عمليات تفريغ وشحن المواد وأعمال اللحام البقعى Spot welding وأعمال الطلاء بالرش Spray painting . وسوف نفرد الفصل القادم من هذا الكتاب للاستخدامات الروبوتية بأنواعها المختلفة .

أما الروبوتات الشخصية فتشمل الآليات الروبوتية التى يجرى استخدامها لتلبية الاحتياجات الشخصية فى مجال الأعمال المنزلية والحراسة والتعليم والفندقة وما أشبه .

فيما عدا التصنيف العام للروبوتات إلى روبوتات صناعية وأخرى شخصية ، توجد تصنيفات عديدة للروبوتات تعتمد على التفرقة بين الروبوتات بحسب درجة الأتمتة أو حسب نوعية المكونات الروبوتية . وسوف نتعرض فيما يلى بقليل من التفصيل لتصنيف الروبوتات بحسب درجة الأتمتة ، لما لها من أهمية فى المفاضلة بين هذه الآليات من ناحية التقدم التقنى بوجه عام .

أما التصنيف بحسب نوعية المكونات فسوف نكتفى فى عرضه بسرد الأنواع المختلفة منها بحسب كل مكون اكتفاء بما سوف نقدمه من شرح تفصيلى لهذه المكونات عند الحديث عن هندسة الروبوت .

التصنيف بحسب درجة الأتمتة :

لقد صنف اليابانيون الروبوتات بحسب درجة الأتمتة (درجة تلقين الروبوت لتعليمات التشغيل) إلى الأصناف الآتية :

١ – المناول اليدوى manual manipulator

وهو المناول الذى يجرى تشغيله تحت السيطرة التامة للعامل البشرى فى كل خطوة من خطواته .

٢ – الروبوت ذو التتابع الثابت Fixed sequence robot

وهو ضرب من المناولات له المقدرة على تكرار أداء خطوات متتابعة فى عملية ما وفقا لنمط تشغيلى سابق التحديد من حيث التتابع وطبيعة الحركة والوضع . ويكون من الصعب إحداث أى تغيير فى نمط التشغيل دون إجراء تعديلات جوهرية على وحدة التحكم .

٣ – الروبوت ذو التتابع المتغير variable sequence robot

لا يختلف هذا الروبوت عن سابقه إلا فى سهولة تغيير نمط التشغيل الخاص به دون الاضطرار إلى إجراء تعديلات جوهرية على وحدة التحكم .

٤ – الروبوت ذو التشغيل المسترجع Playback robot

وهو ضرب من المناولات يمكنه أن يستعيد من ذاكرته العمليات التى

سبق له القيام بها تحت توجيه عامل بشرى . بمعنى أن يقوم العامل البشرى أولا بتلقين الروبوت تعليمات التشغيل الخاصة بعملية ما ، فيختزنها الروبوت فى ذاكرته لحين استدعائها عند الرغبة فى تكرار تنفيذ العملية . وتشمل هذه التعليمات عادة معلومات عن تتابع الخطوات ، وطبيعة الحركة فى كل خطوة ، والوضع النهائى للآليات الطرفية وما أشبه .

٥ - الروبوت ذو التحكم الرقمى numerical control (NC) robot

وهو ضرب من الروبوتات المناولة يمكنه أداء عملية محددة إذا تم تلقينه المعلومات الخاصة بالتتابع وطبيعة الحركة والموضع فى صورة بيانات رقمية . وتشمل البرامج الجاهزة software الخاصة بهذا الروبوت ما هو مسجل على شرائط مثقبة punched tapes أو بطاقات cards أو مفاتيح رقمية digital switches . وللروبوت نفس نمط التحكم الخاص بمكنات التحكم الرقمى NC machines .

٦ - الروبوت الذكى Intelligent robot

يمكن لهذا الروبوت ذاتيا اتخاذ القرار بشأن العملية المقدم عليها فى ضوء المعلومات التى يقوم بتجميعها عن الظروف المحيطة به مستخدما مستشعراته اللمسية والبصرية والصوتية ، وأحيانا السمعية .

ويزود هذا الروبوت عادة بحاسوب متقدم وببرامج جاهزة لمنظومات الذكاء الاصطناعى التى يمكنها تغيير مدخلاتها وفقا للإشارات المرتدة من المستشعرات .

التصنيف بحسب نوعية المكونات :

يوجد نحو ستة تصنيفات فرعية للروبوتات بحسب مكوناتها الأساسية مبينة بالجدول (٢ - ١) .

جدول (٢ – ١) : تصنيف الروبوتات بحسب مكوناتها

المكونـــات	التصنيــف
١ – محاور الحركة	١ – ١ محاور اسطوانية ١ – ٢ محاور كروية ١ – ٣ محاور مفصلية كروية ١ – ٤ محاور كرتيزية (متعامدة)
٢ – وحدة القدرة	٢ – ١ قدرة هيدرولية (بالزيوت) ٢ – ٢ قدرة نيوماتية (بالهواء المضغوط) ٢ – ٣ قدرة كهربائية (بالمحركات الكهربائية)
٣ – وحدة التحكم	٣ – ١ وحدة ذات آلية غير مؤازرة ٣ – ٢ وحدة ذات آلية مؤازرة : (أ) للحركات من نقطة إلى نقطة (ب) للحركة فى مسار متواصل ملحوظة : يقصد بالمؤازرة (Servo) وجود نظام للتحكم المبرمج يمكنه اختزان واسترجاع المعلومات الخاصة بتحديد حركة الروبوت .
٤ – نظام المناولة	٤ – ١ نظام التقاط ووضع ٤ – ٢ نظام لأغراض خاصة (عمليات مناولة محددة) ٤ – ٣ نظام عام (متعدد الأغراض)
٥ – وحدة البرمجة	٥ – ١ يدوية ٥ – ٢ برمجة بالمصاحبة ٥ – ٣ وحدة محمولة مع الروبوت
٦ – وحدة الذاكرة	٦ – ١ وحدة ذات متابع خطوات ميكانيكى ٦ – ٢ وحدة ذات مشغل دقيق ٦ – ٣ وحدة ذات شريط أو قرص مغنطيسى ٦ – ٤ وحدة ذات متحكم مبرمج ٦ – ٥ وحدة ذاكرة حاسوبية

الجســم الروبوتــى :

هناك عوامل متعددة تتحدد على أساسها هندسة جسم الروبوت . فالسؤال الأول الذى يواجه المصمم وتحدد إجابته إلى حد كبير هيئة الروبوت ، هو : ما هى درجات الحرية المطلوبة لجذع وأذرع وقوابض الروبوت ؟ أو بمعنى أبسط : ما هى درجات المرونة المطلوبة للحركة النهائية لأطراف الروبوت ؟

ويفكر المصمم بعد ذلك فى نوعية مصدر القدرة الذى يناسب الحركة المطلوبة ، وعليه أن يتدبر بعد ذلك كيفية التحكم فى الأجزاء المتحركة ، وأن يوجه عنايته إلى تصميم أطراف الروبوت وقوابضه وأدواته على نحو يجعلها ملائمة للعمليات المطلوبة .

وبعد أن يفرغ المصمم من وضع تصوره الأولى لهندسة الجسم الروبوتى ، يقوم بعمل تقويم شامل لأداء الروبوت وفق مؤشرات متعارف عليها تتناول مقدرة حمل الأثقال ، وسرعة إنجاز التحركات المطلوبة ، ومدى الدقة فى تطابق الأفعال المتكررة ، وما أشبه .

وهو مطالب فوق ذلك بمراعاة الجانب الاقتصادى فى التصميم من حيث نوعية المواد ، وتكلفة المكونات ، ومصروفات التشغيل على نحو يجعل تصميمه قادرا على المنافسة فى الأسواق .

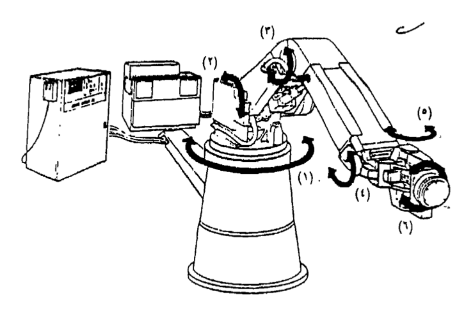
وسوف نتعرض فيما يلى لأهم العوامل المؤثرة على هندسة الجسم الروبوتى .

الهيئة وإمكانات الحركة :

يستخدم مصطلح « درجات الحرية » degrees of freedom فى التعبير عن عدد الطرق التى يمكن للروبوت أن يتحرك بها . أما شكل هذه التحركات والكيفية التى تتجمع وتتناسق بها فيحددان إلى حد كبير هيئة الروبوت .

وبذلك يمكن القول بأن كل نقطة أو موضع فى الروبوت تؤثر عليها آلية قيادة لتوليد حركة ما فى جزء من الأجزاء ، تعتبر فى حد ذاتها درجة من درجات الحرية التى يتمتع بها الروبوت . وقد تكون الحركة ذات طبيعة محورية دورانية ، مثل التى يولدها محرك كهربى ؛ أو ذات طبيعة ترددية ، مثل التى يولدها تحرك كباس فى اسطوانة هيدرولية أو نيوماتية .

ويبين شكل (٢ – ١) نموذجا نمطيا لروبوت ذى ست « درجات حرية » .



شكل (٢ - ١) روبوت صناعى ذو ست « درجات حرية » .

ويمكن ترتيب درجات الحرية للروبوت المبين بالشكل (٢ - ١)بحسب تسلسلها على النحو التالى :

١ - الدرجة الأولى : دوران القاعدة .
٢ - الدرجة الثانية : انثناء الكتف .
٣ - الدرجة الثالثة : انثناء المرفق .
٤ - الدرجة الرابعة : انثناء الرسغ .
٥ - الدرجة الخامسة : انعراج الرسغ .
٦ - الدرجة السادسة : دوران الرسغ .

وفيما عدا بعض الاستثناءات القليلة ، تأتى درجات الحرية للروبوت فى نسق متسلسل . فعلى سبيل المثال ، يؤدى دوران قاعدة الروبوت (درجة الحرية الأولى) إلى إحداث حركة دورانية فى كل الأجزاء التالية لها ، بالإضافة إلى حركة كل جزء على حدة . وعلى النقيض من ذلك ، لا يؤدى انثناء المرفق (درجة الحرية الثالثة) إلى أى تأثير حركى على الأجزاء السابقة له مثل الكتف أو القاعدة . وبذلك تكون الأجزاء التى بها أكبر درجة حرية هى فى حقيقة الأمر أكثر الأجزاء تعقيدا من حيث الحركة . وكلما زادت درجات الحرية التى يتمتع بها الروبوت ، زادت مقدرته على القيام بحركات أكثر تعقيدا .

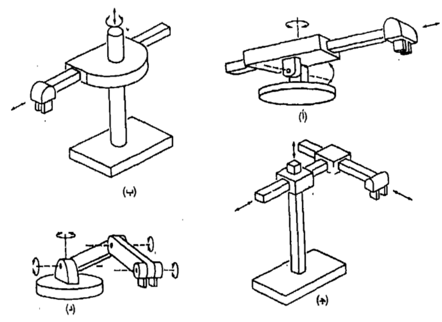
وتختلف مقدرة الروبوت الحركية كذلك باختلاف نوعية الحركة فى إطار درجة ما من درجات الحرية . ولنأخذ مثالا لذلك ، حركة الرسغ الخاصة « بالانعراج » (درجة الحرية الخامسة) ، فإن المقارنة بين مجموعة من الروبوتات التى تتمتع جميعها بمقدرة انعراج الرسغ wrist yaw ، تتوقف على زاوية الانعراج يمينا ويسارا ، والنطاق المغلف لحيز حركة الرسغ باتجاه الانعراج .

وتتوقف هيئة الروبوت فى آخر الأمر على كيفية تتابع درجات الحرية ونوعية الحركة فى كل منها . وعلى ذلك ، توجد إمكانات متعددة تعدد اكبيرا لتشكيل الروبوتات التى لها ست « درجات حرية » .

ويمكن بوجه عام تمييز أربعة أشكال رئيسية من الروبوتات بحسب إحداثيات الحركة فى كل منها :

١ – روبوتات كروية Spherical robots .
٢ – روبوتات اسطوانية Cylindrical robots .
٣ – روبوتات كرتيزية Cartesian robots .
٤ – روبوتات مفصلية كروية Jointed-spherical robots .

ويبين شكل (٢ – ٢) رسما تخطيطيا لهذه الأنواع .



شكل (٢ - ٢) الأشكال الأربعة الرئيسية للجسم الروبوتى :
(أ) إحداثيات كروية ، (ب) إحداثيات اسطوانية ، (جـ) إحداثيات كرتيزية ، (د) إحداثيات مفصلية كروية .

وتعمل الروبوتات ذوات الهيئة الكروية ، المبينة بشكل ٢ – ٢ (أ) ، بواسطة ذراع تلسكوبية يمكن خفضها ورفعها حول محور أفقى . ويثبت المحور إلى قاعدة دوارة . وتعمل هذه المحاور مجتمعة على تمكين الذراع من الحركة فى حيز كروى .

وتوجد بالأسواق الأمريكية روبوتات كروية من طراز « يونيمات » Unimate 2000 و « ميكر ١١٠ » Maker 110 يجرى استخدامها فى عمليات شحن وتفريغ المكنات بمصانع السيارات وبمصانع إنتاج الإلكترونيات .

أما الروبوتات الاسطوانية المبينة بشكل ٢ – ٢ (ب) فتعمل بواسطة جزء منزلق يتحرك لأعلى ولأسفل على عمود رأسى . وتثبت الذراع إلى الجزء المنزلق على نحو يمكن معه تغيير طول الذراع بحسب نصف قطر التحرك المطلوب . ويمكن بإدارة العمود الرأسى وتحريك المنزلق والذراع تشكيل حيز اسطوانى متغير الأبعاد لنطاق حركة الذراع .

ويتميز هذا النوع بسهولة الحصول على حركة خطية مستقيمة فى الاتجاه الرأسى . إلا أنه من المتعذر تعامله مع الأجسام ذات الاستدارة .

وقد أنتجت مصانع « جنرال موتورز » GM الأمريكية الطراز MIA من هذا النوع .

وتستخدم الروبوتات ذوات الهيئة الكرتيزية ، المبينة بشكل ٢ – ٢ (جـ) ، ثلاثة منزلقات متعامدة لتدبير وتهيئة حركة الذراع فى الثلاثة الاتجاهات الإحداثية المعروفة (س ، ص ، ع) . ولذلك ، يطلق على هذه الروبوتات أحيانا « روبوتات س ص ع » XYZ robots . ويمكن بالجمع بين حركة المنزلقات الثلاثية تشكيل حيز على هيئة متوازى مستطيلات متغير الأبعاد .

وقد أنتجت شركة IBM طرازها RS-1 من هذا النوع (يعرف حاليا بالطراز ٧٥٦٥ Model 7565) . ويطلق أحيانا على هذا النوع من الروبوتات اسم « الروبوت الصندوقى » box robot أو « روبوت القنطرة » gantry robot لتشابهه مع « ونش القنطرة » من حيث طبيعة الحركة .

ويتميز هذا النوع بإمكان تصنيع نماذج ضخمة منه تتمتع بدرجة عالية من المتانة والتحمل . أما النماذج الصغيرة منه ، فيمكن استخدامها فى تحقيق درجة أعلى من الدقة الحركية .

والنوع الرابع والأخير المبين بشكل ٢ – ٢ (د) ، هو ما يطلق عليه « الروبوت المفصلى الكروى » ، وهو يحاكى إلى درجة كبيرة الذراع البشرية ، إذ

يتكون من جزءين مستقيمين يماثلان العضد والساعد ، وكلاهما مثبت إلى قاعدة رأسية .

ويتصل هذان الجزءان بعضهما مع بعض بمفصلات دورانية تحاكى وصلات الكتف والمرافق . وتزود الذراع فى نهايتها بما يشبه الرسغ الذى يتحرك بواسطة مفصلات إضافية . وتوجد فى الأسواق الأمريكية أنواع متعددة من هذا الروبوت أهمها « سينسناتى ميلاكرون ت – ٣ » Cincinnati Milacron T3 طراز ٧٧٦ Model 776 والروبوت « سكارا » SCARA من إنتاج شركة United States Robots .

ويجرى استخدام هذا النوع من الروبوتات بصفة أساسية فى أعمال التجميع الصناعى . وقد أخذ « سكارا » اسمه من الحروف الأولى لعبارة Selective Compliance Assembly Robot Arm والتى تعنى « الذراع الروبوتية المجمعة ذات المطاوعة الانتقائية » ، وهو مصطلح شاع فى أواخر السبعينيات للتعبير عن الروبوتات المثالية فى مجال أعمال التجميع . إذ تشتمل عملية التجميع عادة على المراحل الآتية :

١ – التقاط المشغولة رأسيا من على نضد أفقى .

٢ – إزاحة المشغولة فى المستوى الأفقى إلى نقطة أخرى مطابقة لموضع محدد على النضد .

٣ – إنزال المشغولة إلى الموضع المحدد لاستكمال التجميع . وقد يتطلب الأمر إحداث حركة دورانية لإرساء المشغولة فى مبيت (غلاف) التجميع .

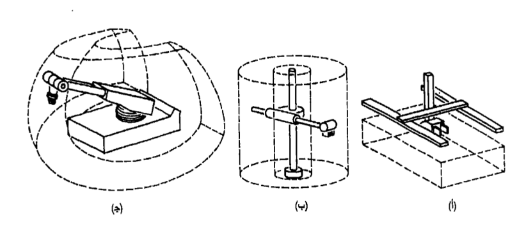
وكثيرا ما يحدث فى أعمال التجميع انحراف فى المحاذاة ، ومن هنا جاء تعبير « المطاوعة الانتقائية » الذى يعنى مقدرة الروبوت على إعادة ضبط نفسه لتصحيح عدم المحاذاة . ونظرا لوجود المفصلات الأفقية فى روبوت « سكارا » فإنه يعتبر مثاليا من حيث إمكان إحداثه لزحزحة فى المستوى الأفقى تمكنه من تصحيح وضعه بالنسبة لمبيت التجميع .

وتوجد أنواع متقدمة من هذا الروبوت جرى تحوير هيئتها على شكل « خرطوم الفيل » "Trunk Robot" وتتمتع بمرونة عالية للحركة فى مختلف الاتجاهات فى الأمكنة الضيقة . ولذا يجرى استخدامها عادة فى تطبيقات الطلاء الصناعى بالرش .

وبوجه عام ، يتوقف حيز العمل work volume للروبوت ، الذى يحدده أقصى

مسار يمكن أن يطوله طرف الرسغ ، على هيئة الروبوت وعلى أبعاد مكونات الجذع والذراع والرسغ ، وعلى حدود حركة مفاصل الروبوت .

ويبين شكل (٢ - ٣) كيفية تغير حيز العمل بتغير هيئة الروبوت .



شكل (٢ - ٣) شكل حيز العمل للأنواع المختلفة من الروبوت .
(أ) كرتيزى ، (ب) اسطوانى ، (جـ) كروى

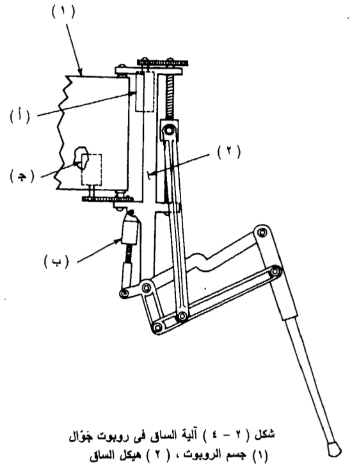
وترجع أهمية حيز العمل إلى تحديده لمقدرة أطراف الروبوت على الوصول إلى المواضع المطلوبة ، وإلى تحديده أيضا للنطاق الآمن للتعامل مع الروبوت ، حيث يجب إخلاء هذا النطاق من أى عوائق أثناء تحرك الأطراف فيه . ولذلك تزود الخلايا الروبوتية عادة بأجهزة إنذار ذوات مستشعرات يمكنها الإحساس بوجود أى أجسام غير مرغوبة فى نطاق حركة الروبوت .

تناولنا فيما سبق أهم أشكال الهيئة الروبوتية التى تناسب عادة مختلف الأغراض الصناعية ، وتعرضنا لتأثير هذه الأشكال على حيز العمل للروبوت أخذا بالاعتبار تركيب هذه الروبوتات على قواعد ثابتة أو على قواعد ذات حركة محدودة . إلا أنه توجد كذلك أنواع من الروبوتات التى تتميز بمقدرتها على التجوال والتى يطلق عليها الروبوتات الجوالة mobile robots . وتتحرك هذه الروبوتات إما بواسطة أرجل صناعية أو بواسطة عجلات .

وتكون عادة غالبية الروبوتات الشخصية من هذا النوع ، إلا أنه توجد أيضا روبوتات صناعية يمكنها « السير » وهى تحمل أثقالا تصل إلى نصف الطن ، كما يمكنها التقاط ورفع أحمال تصل إلى الطن .

ومن أطرف هذه الأنواع ما أنتجته شركة « أوديتكس » .Odetics, Inc بولاية كاليفورنيا .

إذ يتميز روبوت « أوديتكس » بمقدرته على تسلق ظهر شاحنة نصف نقل pickup truck ثم رفع الجزء الخلفى للشاحنة وجرها إلى مسافة قصيرة ثم الدوران بها بزاوية قائمة لإخلاء المكان . ويبين شكل (٢ - ٤) آلية الساق الصناعية لهذا الروبوت . والساق مزودة بثلاثة أنواع من الموتورات الكهربية أحدها للحركة الرأسية ، والثانى للحركة الامتدادية ، والثالث للحركة الاهتزازية .



شكل (٢ - ٤) آلية الساق فى روبوت جَوّال
(١) جسم الروبوت ، (٢) هيكل الساق
(أ) موتور الحركة الرأسية ، (ب) موتور الحركة الامتدادية ، (جـ) موتور الحركة الاهتزازية .

نظم القيادة Drive Systems

يعتبر نظام القيادة من أهم الخصائص التى تحدد إمكانات الأداء الروبوتى ، وبالتالى فإنه يبين الجدوى التقنية والاقتصادية للتطبيق . وسوف نعرض فيما يلى

للأنواع الأربعة الرئيسية لنظم القيادة ، وهى النظام الميكانيكى ، والنظام الهيدرولى ، والنظام النيوماتى ، والنظام الكهربى . ورغم ما درج عليه الكثير من المراجع الروبوتية من إغفال النظام الميكانيكى لبدائيته ، فإن كثيرا من الآليات الروبوتية اليابانية يمكن إدراجها تحت هذا الصنف من نظم القيادة وفقا للتعريف اليابانى للروبوتات ، كما أن غالبية التطبيقات الروبوتية ترجع تاريخيا إلى الآليات الروبوتية ذوات نظم القيادة الميكانيكية .

وقبل الشروع في المقارنة بين هذه النظم ، نود أن نشير إلى إمكان تداخل أكثر من نظام للقيادة فى الآلية الروبوتية الواحدة .

النظام الميكانيكى Mechanical System

يعتمد نظام القيادة الميكانيكى على تركيبات معقدة من التروس gears والحدبات (الكامات) cams . وبالرغم من تغذية الروبوت بالكهرباء بشكل أساسى فى معظم التطبيقات ، فإن التأثير المباشر على مفاصل الروبوت يأتى عن طريق الآليات الميكانيكية . ويكون من الصعب ، مع النظام الميكانيكى للقيادة ، إعادة برمجة الروبوت فى موقع استخدامه ، مما يخرجه من عداد الروبوتات الصناعية وفقا للتعريف الأمريكى لهذه الروبوتات .

ولعل أهم ميزتين للقيادة الميكانيكية هما رخص التكلفة وسرعة الأداء .

النظام الهيدرولى Hydraulic System

تعتبر الروبوتات ذوات نظام القيادة الهيدرولى أقوى الروبوتات من وجهة النظر الفيزيائية ، إذ يمكن التأثير على مفصلاتها وقوابضها بقوى ضخمة وبشكل مباشر ، وذلك بسبب سهولة وسرعة نقل القوى الكبيرة عبر السوائل .

ويعيب هذه الروبوتات ارتفاع تكلفتها مقارنة بالأنواع ذوات نظم القيادة الأخرى .

إذ يتطلب النظام الهيدرولى وجود خزان ومضخات إضافية للسائل الهيدرولى ، بالإضافة إلى الصمامات والمستلزمات الأخرى التى يفترض فيها تحمل الضغوط العالية .

كذلك فإن النظم الهيدرولية تحتاج إلى توفير مساحة أكبر للخلية الروبوتية لاستيعاب التجهيزات التكميلية ، بالإضافة إلى ما قد تسببه من متاعب عند تسرب الزيوت من وصلاتها المختلفة .

ويمكن باستخدام النظام الهيدرولى الحصول على الحركة الدورانية والحركة الخطية . أما الحركة الدورانية فيجرى الحصول عليها باستخدام مشغلات actuators مروحية تعمل باندفاع السوائل عبر أرياشها . وأما الحركة الخطية فيجرى الحصول عليها بواسطة تحرك كباس داخل اسطوانة بفعل ضغط السائل .

وتعتبر عمليات الدهان بالرش spray-painting أحد أهم المجالات التى تستخدم فيها الروبوتات ذوات النظام الهيدرولى ، إذ تحتاج هذه العمليات إلى احتياطات بالغة الانضباط للحماية من الحرائق مما يتعذر توافره فى غير النظم الهيدرولية أو النيوماتية .

ورغم التدنى النسبى فى شعبية استخدام النظم الهيدرولية فى الوقت الراهن ، فإن هذا النوع من نظم القيادة قد لاقى رواجاً كبيراً لدى منتجى الروبوتات فى السنوات المبكرة للتطبيقات الروبوتية ، وخاصة فى مجال اللحام البقعى spot welding فى صناعة السيارات وفى مجال تداول المشغولات الثقيلة فى صناعة المطروقات وفى السباكة فى قوالب تحت ضغط die casting .

ويظهر ذلك بصورة واضحة فى النماذج الأولى التى شملتها عائلة روبوتات « يونيماشن » Unimation .

النظام النيوماتى Pneumatic System :

إن المصطلح المعرب « نيوماتى » يعنى « التشغيل بالهواء المضغوط » . ولا يوجد نظام قيادة أكثر عملية وأقل تكلفة من النظام النيوماتى لاستخدامه فى الأغراض المعتادة لشحن وتفريغ المكنات ولعمليات التقاط ووضع المشغولات بواسطة الروبوت . ويشجع استخدام هذا النظام توافر خطوط الهواء المضغوط بضغط ٦ جو فى غالبية المصانع ، وهذا الضغط مناسب لإمداد الروبوتات النيوماتية بالقدرة المطلوبة .

وتعمل الروبوتات النيوماتية عادة بواسطة اسطوانات هوائية ذوات كباسات على محاور . وتتحدد حركة المحاور بواسطة مصدات ميكانيكية ثابتة الموضع . ويشتمل الروبوت عادة على مجموعة من هذه الاسطوانات كل منها يمثل محورا من محاور الحركة . ولا تكاد تختلف هذه الاسطوانات عن نظائرها من اسطوانات معدات التحكم النيوماتى التى عرفت منذ فترة طويلة قبل ابتكار الروبوتات .

ويرجع رخص تكلفة الروبوت النيوماتى إلى تركيبه من هذه الوحدات النمطية المتاحة بوفرة فى الأسواق .

وقد يدهش القارئ من إمكان عمل برمجة للروبوت رغم استخدام المحاور النيوماتية التى لا يمكن التحكم فى كل منها إلا عند المواضع الطرفية فقط . ولكن ينبغى عدم نسيان العوامل الأخرى التى تعمل على زيادة احتمالات الحصول على عدد غير محدود من نقط التحكم ، مثل التحكم فى التوقيت وفى تتابع تشغيل المحاور . كذلك ، يمكن إضافة إمكانات تحكم أخرى بتغيير مواضع المصدات على كل محور بواسطة تحريك الصواميل nuts .

وتوجد حاليا روبوتات نيوماتية يمكنها أن تعمل فى مسارات متصلة ومتغيرة بشكل كامل التحكم باستخدام مفهوم « الارتعاش التفاضلى » differential dithering . ويطبق هذا المفهوم عن طريق إصدار نبضات قصيرة ومتتالية من الهواء المضغوط على نحو يؤثر على طرفى كل عضو من أعضاء الروبوت بتتابع محكم . وتعتبر هذه الوسيلة من أرخص الوسائل التى يمكن بها الحصول على حركة محكومة فى مسار متصل .

وقد شجع إمكان تجميع الروبوت من وحدات نيوماتية نمطية منتجى قطع الغيار الروبوتية على رفع شعار « ابن روبوتك بنفسك » build your own robot .

***النظام الكهربى* Electric System :**

تعتبر النظم الكهربية المستخدمة فى القيادة هى أكثر النظم شعبية فى التطبيقات الروبوتية التى تحتاج إلى درجة عالية من الدقة ، وذلك لكونها سهلة التطويع لتلقى أوامر التحكم الإلكترونية السريعة . ورغم إمكان مشاركة كثير من نظم القيادة الهيدرولية للنظام الكهربى ، من حيث الدقة ، فإن التحكم الحركى بالغ التعقيد سيظل مقصورا إلى حد كبير على نظم القيادة الكهربية .

ويمكن بوجه عام تصنيف الروبوتات الكهربية إلى مجموعتين رئيسيتين بحسب نوعية الموتورات الكهربية المستخدمة فى كل منهما . المجموعة الأولى ، وتستخدم الموتورات المرحلية (المتدرجة) stepper motors التى يمكن تحريكها بإزاحة زاوية بالغة الدقة مقابل كل نبضة فلطية صادرة من وحدة التحكم الحاسوبية المتصلة بالروبوت .

ونظراً لما تتمتع به الموتورات المرحلية من دقة متناهية تكفل عدم تجاوز عزم التحميل للحدود المصمم عليها الموتور ، لذا يجرى استخدامها أحيانا فى الروبوتات

التى تعمل بدوائر تحكم مفتوحة الحلقة open-loop control circuits . ويتم ذلك فى الحالات التى يقوم فيها الحاسوب المخصص للتحكم فى حساب عدد النبضات اللازمة لإنجاز حركة ما ، ومن ثم يصدر أوامره إلى الروبوت بالتنفيذ دون أن ينتظر ورود إشارة مرتجعة تعلمه بمصير الحركة التى بدأها . وقد يواكب سوء الطالع الروبوت فيصادف عائقا فى طريقه أو يحدث انزلاق فى الأجزاء الميكانيكية الناقلة للحركة على نحو لا تكتمل معه الحركة المطلوبة . إلا أن الحاسوب يستمر فى إصدار أوامره التالية دون « إدراك » ما حدث ، فيستمر الاحتفاظ بالخطأ فى الدورات التالية ، وقد يتفاقم الأمر على نحو يؤدى إلى حدوث تلفيات فى خط الإنتاج . وعلى أى حال ، فقد أمكن التوصل إلى علاج لهذه الحالة سوف نتعرض له فيما بعد .

أما المجموعة الثانية ، فتستخدم فيها موتورات القيادة المؤازرة ذات التيار المستمر dc servo-driven motors . وتشتمل دوائر التحكم فى هذه الموتورات على حلقات تغذية مرتدة feedback loops تتلقى الإشارات من الأجزاء المقودة (المدارة) وتعيدها إلى وحدة التحكم حيث تجرى مقارنتها بإشارات الوضع الصحيح (إشارة الضبط) ، فتصدر وحدة التحكم تبعا لذلك إشارة تصحيح يجرى تعديل إزاحة الموتور تبعا لها حتى يتلاشى الفرق بين الإشارتين . ويتم تغذية الموتور بالتيار الثابت اللازم للوصول إلى وضع التصحيح .

وتجدر الإشارة إلى أن التغذية المرتدة ليست مقصورة على موتورات المجموعة الثانية ، وإنما يمكن استخدامها أيضا مع الموتورات المرحلية الخاصة بالمجموعة الأولى . ويجرى ذلك بواسطة « مشفرات ضوئية » optical encoders تستخدم فى مراقبة الإزاحة الزاوية الفعلية فى الأجزاء المقودة . وتُرسل إشارات المعلومات الخارجة من الكاشفات إلى حاسوب التحكم الذى جرت برمجته ، على نحو يمكنه من حساب التصحيح المطلوب وإرسال إشاراته المصححة إلى الموتور .

وقد يبدو للوهلة الأولى إمكان الاستغناء التام عن الموتورات المؤازرة اكتفاء بما تحققه الموتورات المرحلية من مزايا فى حالتى دوائر التحكم المفتوحة أو المغلقة ، إلا أن الواقع عكس ذلك ، إذ مازالت الموتورات المؤازرة تتمتع بشعبية كبيرة فى الاستخدام بسبب ميزة تواصل إشاراتها وعدم تقطعها ، مما يتيح مجالا أكبر للحصول على مسارات أكثر نعومة وسلاسة .

وتتفوق الموتورات الكهربائية بوجه عام تفوقا كبيرا فى مجال عمليات التجميع الصناعى وفى الروبوتات الشخصية التى تتطلب قدرا كبيرا من الدقة الحركية .

وقد دأب اليابانيون على استخدام وتطوير الروبوتات ذات القيادة الكهربائية منذ حداثة إنتاج الروبوتات الصناعية ، على حين عكف الأمريكيون على إنتاج النماذج الهيدرولية وتطويرها .

ويرجع السبب فى ذلك إلى مجال الاستخدام ؛ إذ استخدم اليابانيون روبوتاتهم بشكل أساسى فى أعمال التجميع التى تحتاج للروبوتات ذات القيادة الكهربائية ، بينما استخدم الأمريكيون روبوتاتهم بشكل مكثف فى صناعة السيارات فى ذلك الحين .

التحكم الحركى Motion Control :

رغم الأهمية الكبيرة لنوعية نظام القيادة فى تمايز الروبوتات فإن درجة التحكم فى حركة الروبوت لا تقل أهمية عنها فى تحديد تكلفة المشروع الروبوتى . وسوف نتعرض فيما يلى للأنواع الأساسية من نظم التحكم الحركى التى يغلب استخدامها فى الآليات الروبوتية .

التحكم بالمحددات المحورية Axis Limit Control :

يعتبر هذا النوع من أبسط وأرخص نظم التحكم فى الروبوتات ، ويطلق عليه أحيانا « التحكم ذو الموضعين » Two-position control نظرا لوجود موضعين على كل محور حركى يحددان بداية ونهاية الحركة . وقد تعرضنا لشىء من ذلك عند الحديث عن وجود مصدات ميكانيكية على كل محور من محاور الاسطوانات النيوماتية التى تقود مفاصل الروبوت .

ويكون من الصعب على مستخدمى هذا النوع من التحكم تغيير سرعة الأجزاء المتحركة ، اللهم إلا فى أضيق الحدود . وقد يجرى ذلك بتغيير قدرة مصدر التغذية ذاته نظرا لصعوبة التحكم فيما وراء ذلك .

وفى أحيان كثيرة ، يمكن الاستعانة بفترات توقف صغيرة ومبرمجة بين الحركات ، وذلك لإمكان إحداث تعديلات انتقائية تؤثر على السرعة النهائية لدورة التشغيل .

ومن أكثر المجالات التى يشيع فيها استخدام التحكم بالمحددات المحورية مجال تحميل وتفريغ المكنات فى الخطوط الإنتاجية . ويلائم هذا النوع من التحكم إلى حد كبير نظم القيادات الهيدرولية أو النيوماتية .

التحكم من نقطة إلى نقطة Point-to-Point Control :

يعتبر هذا النوع من التحكم أكثر تقدما من سابقه ، إذ يستطيع مشغل الروبوت في هذه الحالة اختيار أى نقطة فى نطاق عمل الروبوت لتكون هدفا مرحليا فى منظومة تحركاته . ويختلف هذا التحكم عن النوع السابق الذى تثبت فيه حدود الحركة بواسطة مصدات دائمة . إلا أن شكل المسار وسرعة التحرك بين أى موضعين من المواضع المستهدفة يخرجان عن إمكانات هذا النظام . وحتى فى الحالات التى يمكن فيها عمل تحكم محدود فى السرعة فإن التحكم يظل ممكنا من نقطة إلى نقطة فقط مادام شكل المسار بين النقطتين غير خاضع للتحكم .

ويلائم التحكم من نقطة إلى نقطة عمليات تجميع مكونات المكنات ، وتشغيل الثقوب ، واللحام البقعى ، وكذلك بعض عمليات تحميل وتفريغ المنتجات فى خطوط الإنتاجية المؤتمتة .

ويجب عدم حدوث خلط بين الحركة من نقطة إلى نقطة وبين الحركة فى خط مستقيم ، وعموما ، فإنه حتى أبسط أشكال الحركة فى خط مستقيم بين نقطتين لا يمكن إنجازه بنظام من هذا النوع . ويستثنى فقط من هذا التعميم الحركة الرأسية فى خط مستقيم ، كالتى تحدث أثناء رفع المشغولات بواسطة روبوت ذى هيئة اسطوانية . وتعتبر الحركة فى خط مستقيم من أعقد المهام التى تواجه الروبوت ، خاصة إذا كان من النوع ذى الهيئة المفصلية الكروية (على شكل الذراع) ، إذ لا بد من تحقيق تحكم حركى متزامن على أكثر من محور للحصول على حركة فى خط مستقيم من روبوت مفصلى كهذا .

وقد سعى منتجو الروبوتات سعيا حثيثا للتغلب على هذا القصور ، وأمكنهم أخيرا عمل حزمة من البرامج الجاهزة الفرعية للحاسوب computer software routines يمكن بواسطتها معالجة المنظومة الرياضياتية لمعطيات فلطية المحاور والنبضات أو فتحات الصمامات للحصول على حركة فى خط مستقيم بمجرد طلبها .

التحكم الكونتورى Contouring Control :

التحكم الكونتورى الكامل هو فى حقيقته التزام تام بالحركة المتصلة على الخطوط الخارجية لشكل من الأشكال . وهو بذلك أحد المستويات العالية من مستويات التحكم فى الحركة الروبوتية .

ولو تصورنا روبوتا من النوع الذى تقوده موتورات مرحلية ، فإن مثل هذا الروبوت يكون غير قادر على تحقيق هدف الكمال الكونتورى ، وإن أقصى ما

يستطيعه – بعد تزويده بوحدة تحكم ذات تغذية مرتدة ويمكنها تغيير معدل النبضات التى تصدرها إلى الموتور – أن يقترب بصورة شبه كاملة من التحرك المتصل على الخطوط الخارجية للشكل المطلوب .

ويتعذر فى أحيان كثيرة ، على من لم يقم ببرمجة الروبوت ، التمييز بين روبوت يتحرك من نقطة إلى نقطة وبين روبوت آخر يتحرك فى مسار كونتورى متصل إذا ما أحسن برمجة الروبوت الأول على نحو يؤدى إلى زيادة النقط على المسار إلى أكبر عدد ممكن .

وتوجد برامج جاهزة تيسر على المبرمج محاكاة السير الكونتورى المتصل بواسطة عدد كبير من الحركات القصيرة شبه المستقيمة . إلا أن البرمجة ليست هى كل المشكلة . إذ يتوقف زمن إنجاز الحركة الكامل على عدد النقط المختارة ، وبزيادة عدد النقط يزداد بطء الروبوت وتقل فاعليته .

ولا يقتصر التحكم الكونتورى على تنفيذ المسار المتواصل المحدد لأداة الروبوت وإنما يشمل أيضا التحكم فى سرعة الأداة .

ويلزم التحكم الكونتورى لإنجاز معظم عمليات الطلاء بالرش والتشطيب والتغرية gluing وعمليات اللحام بالقوس الكهربائية .

المتابعة الخطية Line Tracking

المتابعة الخطية ، وإن لم تكن نمطا مستقلا بذاته يمكن فصله عن أنماط التحكم الكونتورى ، إلا أنها أكثر أشكاله تعقيدا . ونعنى بالمتابعة الخطية أن يقوم الروبوت ، بالإضافة إلى العملية المطلوبة ، بملاحقة حركة المشغولات على الخط الإنتاجى . إذ يحدث فى كثير من الخطوط الإنتاجية المؤتمتة تحرك المشغولات بواسطة سير ناقل belt conveyor أثناء إجراء العمليات المختلفة عليها .

ولما كانت غالبية الروبوتات من النوع ذى القاعدة المثبتة ، لذلك يلزم برمجة الروبوت على نحو يُمَكّن الأداة من ملاحقة المشغولة فى الإطار الزمنى الذى تعبر فيه المشغولة حيز العمل للروبوت . وقد يحدث فى بعض الأحيان إنتاج روبوتات تكون لقاعدتها درجة من درجات الحرية ، التى تتمثل غالبا فى إمكان تحرك القاعدة على جريدة مسننة rack فى الاتجاه الموازى لخط الإنتاج ، وذلك للتخفيف من صعوبة البرمجة .

وفى كلتا الحالتين ، تجرى مقارنة اقتصادية بين تكلفة إضافة آلية حركة لقاعدة

الروبوت ، وبين تكلفة إضافة حزمة برامج جاهزة للروبوت ذى القاعدة الثابتة ، حيث يتحدد الاختيار الأمثل على أساس تلك المقارنة .

ومن مميزات المتابعة الخطية ، إمكان معالجة المشغولات على خطوط متصلة الحركة بدلا من الاضطرار إلى تصميم خطوط ذات أداء متقطع . ولا يخفى ما تحققه الخطوط المتصلة من مزايا من ناحية الاقتصاد فى الوقت ، والمتانة ، وقلة الأعطال ، وبساطة التحكم .

ولعل أكثر التطبيقات ملاءمة لروبوتات المتابعة الخطية أعمال الطلاء بالرش . ففضلا عن تحرك المشغولات المراد طلاؤها بشكل مستمر أثناء الرش فإنه يلزم فى نفس الوقت إنجاز الطلاء فى أكثر من جانب من المشغولة .

التحكم الذكى Intelligent Control

تتزايد يوما بعد يوم أعداد الروبوتات المزودة بنظم تحكم لديها قدر لا بأس به من الذكاء الاصطناعى . وتتجاوز مقدرة هذه الروبوتات إمكان تكرار عملياتها وفق نسق مبرمج إلى إمكان التفاعل مع البيئة المحيطة واتخاذ قرارات تصويبية تبدو متسمة بالذكاء .

وتشتمل دائرة التحكم فى هذه الروبوتات عادة على حاسوب رقمى أو ما يشابهه من وحدات التحكم المبرمج .

ويمكن للروبوت من هذا النوع الخروج عن برنامجه عند تغير الظروف المحيطة به بشكل يستدعى ذلك . كما يمكنه اتخاذ قرارات منطقية logical decisions تعتمد على البيانات المرتدة من مستشعراته التى تراقب العمل . ويحدث عادة اتصال بين الروبوت وبين البشر المحيطين به أو بينه وبين بعض النظم الحاسوبية الخارجية . ويجرى الاتصال والبرمجة عادة إما بلغة شبيهة باللغة الإنجليزية أو بلغات ترميزية أخرى تختلف إلى حد كبير عن اللغات الحاسوبية المعروفة .

وتعتبر عمليات التجميع الصناعى واللحام بالقوس الكهربائية من أكثر المجالات احتياجا للروبوتات الذكية .

وسوف نتعرض عند الحديث عن الرأس الروبوتى لأساسيات اللغات الروبوتية والذكاء الاصطناعى بشكل أكثر تفصيلا ، حيث يقتصر الغرض هنا على بيان تأثير هذه النظم على التحكم الحركى للروبوت .

يُفضّل معظم منتجى الروبوتات ترك مسألة اختيار الأدوات والأطراف الروبوتية لمستخدمى الروبوت . ويجرى عادة تصميم الأذرع الروبوتية على نحو يلائم تركيب تنوع كبير من القوابض والأدوات . ويمكن للروبوت فى كثير من الأحيان انتقاء الأداة المناسبة وتبديلها أوتوماتيا وفقا لبرنامج مسبق .

ويستخدم فى الروبوتية مصطلح « المؤثرات الطرفية » end-effectors للإشارة إما إلى القوابض grippers أو إلى الأدوات الخاصة التى تُثبت إلى رسغ الروبوت . وتستخدم القوابض للإمساك بالمشغولات والاحتفاظ بها ثابتة أثناء التشغيل . وقد ينصرف ذهن القارىء إلى الكُلابات الميكانيكية باعتبارها الشكل المتصوَّر للقوابض ، إلا أن التطبيقات الروبوتية تتسع لأنواع متعددة من الوسائل القابضة الأخرى ، مثل « الكؤوس الشفاطة » suction cups ، والمغنطيسات magnets ، والخطافات hooks ، والمجاريف scoops .

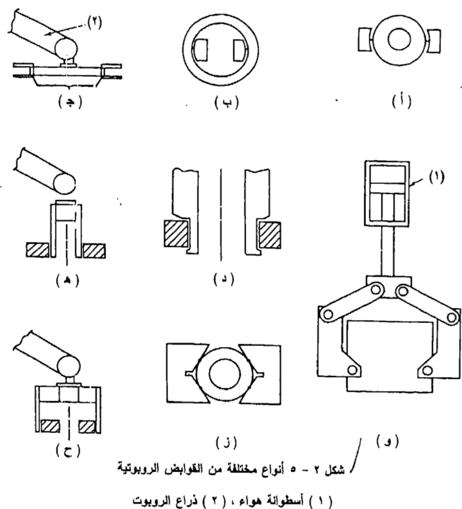
وقد تستبدل الأدوات بالقوابض فى بعض العمليات الصناعية الخاصة ، مثل استخدام الروبوت لأداة لحام بقعى spot welding tool ، أو أداة لحام قوسى arc welding tool ، أو أداة طلاء بالرش spray painting tool ، أو أداة ثقب drilling tool ، أو ما أشبه .

ويجرى فى هذه الحالات تثبيت الأداة إلى رسغ الروبوت دون الحاجة إلى وجود قابض . ويتوقف نجاح التطبيق الروبوتى إلى حد كبير على التصميم الصائب للقابض . ويجب تمحيص الظروف الفعلية التى سوف يعمل فيها القابض ، وعدم الاكتفاء بالتجارب المعملية التى تجرى فى المختبرات .

فقد تتسبب درجات الحرارة العالية ، على سبيل المثال ، فى تمدد القابض أو احتراقه أو انصهاره إذا لم تكن مادته ملائمة . كذلك قد تسبب المشغولات الخشنة أو الحاكة abrasive برى وتآكل القابض ، وخاصة فى العمليات ذات التكرارية العالية . إلا أن أهم المخاطر التى يتعرض لها القابض تنتج عادة عن اختلال المحاذاة أو حدوث تصادم بسبب خطأ فى برمجة الروبوت .

وتوجد أشكال عديدة من القوابض ، إذ يخضع تصميم القابض ، كما سبق وأوضحنا ، إلى رغبة العميل وظروفه . وتجرى عملية القبض عادة ، إما بإطباق فكوك القابض على المشغولات من الخارج أو بإدخال أصابع القابض داخل تجويف

المشغولة ثم فتح الأصابع بعد ذلك للإطباق عليها من الداخل . ويوجد كثير من القوابض التى تجمع بين الإمكانين ، ويترك للمبرمج فى هذه الحالة توجيه الروبوت إلى الاختيار المناسب . ويبين شكل (٢ - ٥) ثمانية نماذج من الأنواع الشائعة للقوابض الروبوتية .



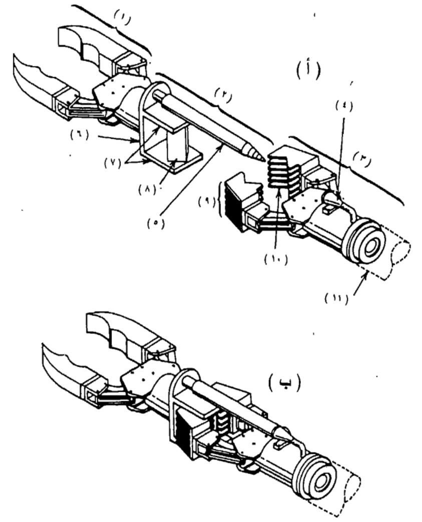
شكل ٢ - ٥ أنواع مختلفة من القوابض الروبوتية

(١) أسطوانة هواء ، (٢) ذراع الروبوت

(أ) إطباق خارجى فى نقطتين ، (ب) إطباق داخلى فى نقطتين ، (جـ) قابض مزدوج ، (د) قابض استحواذى ، (هـ) قابض أقطار داخلية ، (و) قابض منجلى ، (ز) إطباق فى أربع نقاط ، (ح) قابض أقطار خارجية .

تحتاج بعض العمليات إلى تبديل القابض عدة مرات فى دورة التشغيل الواحدة ، وأحيانا يتطلب الأمر إحلال أداة تشغيل خاصة محل القابض . وتزود الروبوتات عادة بآليات خاصة تسمح بتغيير القوابض وأدوات التشغيل . ويبين شكل (٢ - ٦) إحدى هذه الآليات التى جرى تصميمها بمركز مارشال للرحلات الفضائية

التابع لمؤسسة « ناسا » بالولايات المتحدة الأمريكية NASA Marshall Space Flight Center . وتشتمل الأداة كما هو موضح بالشكل على جزءين أساسيين ؛ الجزء الأول عبارة عن قابض عام الأغراض ، والجزء الآخر عبارة عن قابض ذى غرض خاص يمكن إيلاجه بسهولة فى القابض الأول ، كما يمكنه استقبال التغذية الكهربائية من القابض الأول بواسطة وصلة كهربائية ذكرية male electrical connection تولج فى مقبس القابض العام .



شكل (٢ - ٦) آلية مزودة بإمكانات تغيير القابض

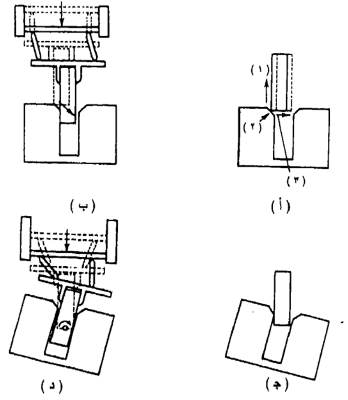
(أ) الالية مفككة ، (ب) الالية مجمعة

١ - طرف ذو غرض خاص ، ٢ - موائم ، ٣ - طرف ذو أغراض عامة ، ٤ - مقبس كهربائى ، ٥ - وصلة كهربائية ذكرية ، ٦ - لوح قاعدة ، ٧ - عصب ، ٨ - عمود ، ٩ - فك ، ١٠ - أصابع مثلثة ، ١١ - الروبوت أو ذراع المناول

أما بالنسبة للأدوات الروبوتية فسوف نتعرض لها بشيء من التفصيل في الفصل الثالث عند الحديث عن الاستخدامات الروبوتية .

وبالإضافة إلى القوابض والأدوات الخاصة ، يجرى تزويد الأطراف الروبوتية بتجهيزات أخرى يطلق عليها أدوات « المطاوعة مع الأجزاء » part-compliant tools . والهدف من هذه التجهيزات تجنب الآثار الضارة التى تنتج عن اختلال المحاذاة أو الاصطدام ، وتعتمد فكرتها على تزويد القوابض بوصلات مرنة تخفف من حدة الفعل لحظة الولوج أو الإطباق إلى أن يتم التأكد من صحة وضع القابض بالنسبة للأجزاء التى يتعامل معها .

ويبين شكل (٢ - ٧) أحد النماذج من هذا النوع ويطلق عليه « أداة التوافق مع المركز المبتعد remote center compliance tool . يحاول الروبوت فى المرحلة (أ) بالشكل إيلاج القضيب فى الثقب إلا أن عدم المحاذاة الجانبى يعوقه عن ذلك . ورغم وجود « شطف » chamfer بحافة الثقب يساعد على تصحيح الوضع إلا أن هذا غير كاف ، وتنشأ قوة جانبية بسبب ضغط القضيب على الحافة . وتعمل هذه القوة



شكل (٢ - ٧) أداة « التوافق مع المركز المبتعد » التى تستخدم فى حل مشكلات المحاذاة
١ - قوة محورية ، ٢ - قوة تلامس ، ٣ - قوة جانبية .

فى وجود الآلية الموضحة بالمرحلة (ب) على تصحيح الوضع وإكمال العمل . أما فى المرحلة (جـ) المبينة بالشكل ، فإنه رغم صحة المحاذاة الجانبية فإن الانحراف الزاوى يعوق الإيلاج . هنا تنشأ قوتان متضادتان بينهما مسافة رأسية بسبب ضغط القضيب على جانبى الحافة . وتعمل القوتان معا ازدواجا يؤثر على الآلية الموضحة بالمرحلة (د) بالشكل ، فتُعدّل من وضع القابض فى الاتجاه الزاوى لإكمال عملية الإيلاج .

ومن الطريف ، ما حاوله البعض من حل بسيط للغاية لمشكلات المحاذاة . وتعتمد فكرة الحل على تصنيع أصابع القابض من المطاط أو النايلون على نحو يمنحها المرونة اللازمة لتصحيح المحاذاة تلقائيا . إلا أن هذا الحل لم يكتب له الانتشار بعد بسبب إحجام مهندسى المصانع عن محاولة تجربته .

مؤشـرات الأداء :

يتضح مما سبق تباين التصميمات الروبوتية تباينا كبيرا فيما بينها من ناحية هندسة الجسم الروبوتى وإمكاناته الحركية ، وتختلف تبعا لذلك تكلفة الروبوت اختلافا كبيرا . ويكون من المطلوب فى جميع الأحوال ، اختيار الروبوت الأقل تكلفة والذى يحقق فى الوقت نفسه الأداء المطلوب .

وسوف نسوق فيما يلى بعض المؤشرات التى يمكن على أساسها تقويم أداء الروبوتات والمقارنة بينها . وتختلف أهمية كل مؤشر من هذه المؤشرات باختلاف طبيعة التطبيق ، وقد يهمل أحدها أو بعضها كلية إذا تبين عدم الاحتياج إليه فى استخدام معين . ومن الواضح أن التنازل عن بعض هذه المؤشرات أو تخفيض رتبتها فى حالة عدم الاحتياج إليها سوف يؤدى بالضرورة إلى الحصول على روبوت أقل تكلفة .

***مقدرة الحَمْل* *Payload Capacity* :**

تختلف مقدرة الروبوت على حمل الأثقال باختلاف هندسة الجسم الروبوتى ، كما سبق وأوضحنا . إلا أنه يحدث أيضا اختلاف فى قيمة الحمل الذى يستطيع روبوت معين حمله باختلاف وضع الحمل قربا أو بعدا من قاعدة الروبوت ، وباختلاف سرعة تحرك الروبوت فى وضع التحميل ، وباختلاف نوع المشغولة من حيث طبيعة سطحها .

ولذلك ، يلجأ منتجو الروبوتات فى بعض الأحيان إلى إعطاء قيمتين للحِمْل ،

مثل الحِمْل الأقصى والحِمْل المعتاد ، أو الحِمْل الإستاتى (الساكن) والحِمْل الدينامى (المتحرك) ، أو ما أشبه .

وينبغى للعميل فى جميع الأحوال تحرى الدقة وسؤال المنتج عن الظروف والأوضاع التى حدد على أساسها مقدرة التحميل لروبوته ، خاصة فى الحالات التى يكتفى فيها المنتج بذكر قيمة معينة واحدة للحِمْل .

إحكام الحركة Precision of Movement :

إحكام الحركة من أهم الخصائص التى تتمايز بها الروبوتات . ويتوقف الإحكام على أربعة مؤشرات أو هو دالة لها جميعا .

وهذه المؤشرات هى :

١ - الثبات المكانى spatial resolution .

٢ - الدقة accuracy .

٣ - المقدرة التكرارية repeatability .

٤ - السرعة speed .

وينبغى قبل الشروع فى تعريف هذه المؤشرات أن نحدد الفروض التى بنى عليها هذا التعريف . وهذه الفروض هى :

أولا : يسرى التعريف على الروبوت حتى رسغه وبدون إضافة اليد أو القوابض أو الأدوات إلى الرسغ .

ثانيا : يطبق التعريف على الروبوت فى أسوأ أوضاعه ذات الصلة بالتعريف . فعلى سبيل المثال ، يفترض امتداد الذراع على آخرها فى حالة الهيئة الكروية أو فى حالة الهيئة المفصلية الكروية .

ثالثا : يطبق التعريف فى إطار تمتع الروبوت بنظام تحكم من نقطة إلى نقطة . أى أننا سوف نعنى بالدرجة الأولى بمقدرة الروبوت على تحقيق وضع معين فى نطاق حيز عمله .

رابعا : يسرى المفهوم الاستاتى (السكونى) على التعريف فى المقام الأول ، لأنه من الصعب الحكم على المقدرة الحركية للروبوت من ناحية إمكان إنجازه لوضع أو مسار معين إذا ما أدخلت فى الاعتبار بعض العوامل الدينامية كالسرعة على سبيل المثال . إذ أن تغير السرعة يؤدى إلى زيادة عدد الاحتمالات بما يعقد التعريف .

١ – ***الثبات المكانى :*** يعرف الثبات المكانى بأنه أصغر خطوة حركية يمكن أن يقسم الروبوت إليها حيز عمله . وتتوقف هذه الخطوة على إمكانات نظام التحكم ، وعلى عدم الدقة الميكانيكية لأعضاء ومفصلات الروبوت . فلو تصورنا أنه بمقدور وحدة التحكم فى الروبوت تقسيم حيز العمل إلى ألف خطوة ، على سبيل المثال ، فإن حدوث تشوه مرن elastic deformation فى الأعضاء ، أو لخلخة (بوش) بين التروس ، أو شد زائد فى سيور البكرات ، أو تسريب فى زيوت الاسطوانات الهيدرولية ، أو ما أشبه ، سوف يؤدى بالضرورة إلى إهدار إمكانات وحدة التحكم فى هذا السبيل .

ويلاحظ أن كبر مكونات الروبوت يؤدى إلى تضخيم الأخطاء ، وكذلك تفعل زيادة الأحمال وسوء الصيانة . وبذلك يمكن أن تقل مقدرة الروبوت على تقسيم حيز عمله من ١٠٠٠ خطوة إلى ٥٠٠ خطوة فقط أو أقل .

هذا ويرتبط عدد الخطوات التى يُقسم إليها حيز العمل بعلاقة أسية مع عدد « بتات » bits (البِت : وحدة المعلومات فى الذاكرة الحاسوبية) ذاكرة وحدة التحكم ، كما يلى :

عدد الخطوات = ٢^{ن}

حيث ن = عدد بتات ذاكرة وحدة التحكم .

ورغم بساطة هذه العلاقة ، فإن وجود أكثر من مفصل للروبوت يؤثر على كل منها وحدة تحكم خاصة ، وكذلك اختلاف نوعية الوصلات (وصلات ترددية وأخرى دوارة) ، ووجود إمكانات حركية إضافية للقوابض والأطراف ، كل ذلك يجعل الحصول على القيمة النهائية للثبات المكانى للروبوت غير ممكن إلا بعمل جمع اتجاهى محصل لثبات جميع الوصلات ، وهذا أمر بالغ التعقيد خاصة إذا أخذ فى الاعتبار عدم الدقة الميكانيكية لأعضاء الروبوت ومفصلاته .

٢ – ***الدقة :*** يقصد بالدقة هنا مقدرة الروبوت على ضمان وصول طرف الرسغ إلى الموضع المستهدف تماما فى نطاق حيز الروبوت . ولا يخفى على القارىء مدى ارتباط دقة الروبوت بالثبات المكانى . فلو تركنا جانبا الدقة الميكانيكية ، وطُلب من الروبوت توجيه طرف رسغه إلى موضع واقع بين نقطتين تفصلهما خطوة مكانية واحدة ، فسوف يتعذر عليه ذلك ويتوقف عند بداية الخطوة . وتتحدد الدقة عندئذ بالفاصل المكانى بين نقطة الهدف ونقطة بداية الخطوة .

وإذا قدرنا الاحتمال الأسوأ ، فإن دقة الروبوت تساوى نصف قيمة الخطوة أو الثبات المكانى ، باعتبار وقوع نقطة الهدف فى منتصف الخطوة تماما .

كذلك يوجد لكل حيز حركى الدقة الخاصة به ، ويطلق عليها « الدقة المحلية » local accuracy تمييزا لها من الدقة التى تستهدف حيز العمل الكامل للروبوت ، والتى يطلق عليها « الدقة الشاملة » global accuracy .

وهناك العديد من العوامل الأخرى التى تجعل الدقة الفعلية أقل من الدقة المحسوبة على أساس التعريف السابق ، ومن ذلك ؛ قيمة الحمل ، والأخطاء الميكانيكية التى تنتج عن سوء التصميم أو الصيانة .

٣ - *المقدرة التكرارية* : ونعنى بها مقدرة الروبوت على توصيل طرف الرسغ إلى الموضع نفسه الذى وصل إليه فى دورة التشغيل السابقة التى جرت برمجته عليها . أو بمعنى آخر ، مقدرة الروبوت على الاستجابة للأمر الصادر إليه بالوصول إلى موضع معين فى نطاق حركته مهما تكرر هذا الأمر .

والمقدرة التكرارية تفوق فى أهميتها خاصية « الدقة » . لأنه من الممكن باستخدام صندوق التوجيه التحكم إلى حد ما فى درجة الدقة عند إصدار الأمر للروبوت للمرة الأولى ، إلا أن نجاحه فى مواصلة نفس الدرجة من الدقة فى المرات التالية يعتمد إلى حد كبير على المقدرة التكرارية .

ويمكن الحصول على أفضل مواصفات للمقدرة التكرارية باستخدام الروبوتات النيوماتية الصغيرة التى تزود بمصدات ميكانيكية لتحديد الوضع على المحاور . ويمكن للروبوت من هذا النوع الوصول إلى الموضع نفسه فى كل دورة بخطأ لا يتجاوز ٠,٠٠١ من البوصة بالزيادة أو النقصان . أما الروبوتات الهيدرولية الكبيرة ، التى تستخدم عادة فى صناعة السيارات ، فيمكنها فعل ذلك بخطأ يصل إلى ٠,٠٥ من البوصة .

أما روبوتات اللحام والطلاء بالرش فيبلغ معدل التفاوت فيها من أجل تكرار الوصول للوضع المطلوب نحو ٠,١٢٥ من البوصة ، وأحيانا أزيد من ذلك .

وهناك بعض « الحيل » التى يلجأ إليها مهندسو الروبوتات لحل مشكلة عدم كفاية المقدرة التكرارية ، إذ يستخدمون مجسا ذا أنف مخروطى nose-cone probe ، حيث يطلب من الروبوت إيلاجه فى ثقب تجريبى قبل بدء دورة التشغيل مباشرة للتأكد من مقدرته على ضبط الوضع فى حدود التفاوت الذى نص عليه العميل ، وتجرى هذه التجربة عادة عند أحرج الأوضاع فى الدورة .

وهناك أسلوب آخر ثبتت فائدته بدرجة كبيرة فى حالة الروبوتات التى تعمل بالموتورات المرحلية ذات دورة التحكم المفتوحة ، إذ يطلب من الروبوت دوريا العودة إلى وضع بدايته فى نقطة معينة من الدورة حيث يقوم بإيلاج مجس وإعادة « تصفير » (العودة لوضع الصفر) مصداته المحورية حتى يمكنه استعادة مكانه الابتدائى بعد عدد محدد من التكرارات . ويمكن للعميل - بحسب اختياره - تحديد عدد الدورات التى تجرى بعدها هذه العملية ، إذ يزود الروبوت بإمكانات برمجة خاصة لهذا الغرض .

ومن الأمور الطريفة ، عقد مقارنة بين الإنسان وبين الروبوت فيما يختص بالمقدرة على ضبط الوضع . إذ تبين أن البشر أقدر عادة من الروبوت على ضبط الوضع بدقة إذا حاولوا ذلك بجدية . إلا أنه فى الحالات التى تتطلب تكرارا كبيرا لا يوجد من يضمن التزام الإنسان بنفس الدرجة من الجدية فى كل مرة تشغيل . وهنا يظهر تفوق الروبوتات بشكل واضح .

٤ - ***السرعة Speed*** : السرعة مؤشر آخر من مؤشرات الأداء الحركى التى قد تثير أحيانا حفيظة مستخدمى الروبوت ، حيث يبدو فى تطبيقات عديدة أنه أبطأ من منافسه البشرى . ورغم ذلك ، يتفوق الروبوت كثيرا فى معدل إنتاجه على العامل الإنسان . وقد يبدو هذا التعارض قابلا للفهم إذا ما تذكرنا قصة السلحفاة والأرنب . فالعامل يحاكى الأرنب فى سرعته عند أداء مهامه ، إلا أن الروبوت يواصل ذلك بسرعة أبطأ كالسلحفاة ولكن بدأب ومثابرة وبدون فترات راحة أو غذاء أو ترفيه ليلا أو نهارا .

ورغم ذلك ، يمكن للروبوت الصغير من النوع النيوماتى ، فى تطبيقات الالتقاط والوضع pick-and-place applications ، إنجاز دورة التحميل والتفريغ فيما لا يزيد على ثلاث ثوان . وتوجد بعض الأنواع التى يمكنها أداء ذلك فى ثانية واحدة . كما يمكن تحقيق معدلات أسرع من ذلك إذا استخدمت المناولات الميكانيكية ذات الحدبات (الكامات) cams . أما السرعة النمطية للروبوتات الهيدرولية الكبيرة ذات التحكم المؤازر فلا تتجاوز عادة ٥٠ بوصة فى الثانية .

الـرأس الروبوتــى :

لم يكن على مصممى الروبوت فى تلمسهم للكمال الهندسى عند تشكيل الرأس الروبوتى سوى العودة إلى قول الحق تبارك وتعالى :

﴿ وفى الأرض آيات للموقنين * وفى أنفسكم أفلا تبصرون ﴾ (سورة الذاريات

الأيتان ٢٠ ، ٢١) ، حيث تبدأ رحلة المعلومات فى الرأس البشرى انطلاقا من الحواس ، التى تتفاعل مع الصوت والضوء والروائح والملامسة فى البيئة المحيطة وتحول كل ذلك إلى إشارات مخية يعالجها العقل فينفعل بها ويصدر إشاراته المرتدة إلى مختلف الأعضاء للتصرف .

وسوف نعرض فيما يلى ، وبشىء من التفصيل ، لمكونات الرأس الروبوتى التى تشمل المستشعرات فى مقابل الحواس البشرية ، والبرمجة فى مقابل التخاطب عند البشر ، والذكاء الاصطناعى فى مقابل الذكاء الإنسانى ، والحاسوب فى مقابل العقل البشرى .

المقدرة الاستشعارية Sensing Capability :

رغم تعدد المجالات التى تستخدم فيها المناولات الميكانيكية على نطاق واسع ، ورغم الدقة الميكانيكية التى كانت وراء نجاحها فى العديد من التطبيقات الصناعية ، فإن ما يعيب هذه المناولات ، التى تصنف أحيانا باعتبارها روبوتات ، هو كونها « عمياء وفاقدة الإحساس » . فهى مقطوعة الصلة بالبيئة المحيطة بها ، ولا يمكنها إدراك حدوث خطأ ما يوجب عليها التوقف أو تصحيح الوضع . وإذا جاز لنا أن نطبق عليها قوانين « إسحق أزيموف » ، فهى أيضا غير قادرة على حماية نفسها ، إذ لا يمكنها تقدير ثقل ما تحمله ، وقد يؤثر ذلك على مفاصلها وأعضائها ، وهى غير قادرة أيضا على إدراك وجود عوائق تعترض سبيلها . إنها رغم كونها آليات مفيدة فإنها بعيدة كل البعد عما يتطلع إليه العلماء من إمكان تصنيع الروبوتات الذكية .

وسوف نتعرض فيما يلى للأنواع المختلفة من المستشعرات التى تمكن الروبوت من تحسس العالم المحيط به . ونود أن ننبه القارىء إلى أن التطورات الهائلة فى تصميم المستشعرات قد أثرت تأثيرا كبيرا على تكلفة الروبوت ووسعت مجال الاختيار أمام المصممين حتى فى مجال محدد للاستشعار . فعلى سبيل المثال ، توجد مستويات عديدة للاستشعار البصرى فى الروبوتات ، تبدأ بالأنواع البسيطة من الخلايا « الفوتوفولطية » ، وتنتهى بنظم الرؤية ثلاثية الأبعاد .

وسوف نبدأ فى جميع الأحوال باستعراض الأنواع البسيطة فى كل مجال من مجالات الاستشعار ، ثم نتدرج بعد ذلك إلى الأنواع الأكثر تعقيدا .

إحساس القوابض بالضغط Gripper Pressure Sense

يعتبر إحساس القابض بالقوة المؤثرة على فكيه من أبسط المتطلبات . ويتكون مستشعر القابض فى أبسط صوره من مفتاح حدى limit switch يقفل تلقائيا عند

الوصول إلى قيمة ضغط سابقة التحديد . ويعتبر هذا المفتاح فى الوقت ذاته وسيلة أمان ضد الإطباق المتجاوز للحدود والذى قد ينتج بسبب خطأ فى البرمجة أو بسبب حدوث تغير غير متوقع فى أبعاد المشغولة .

وهناك ميزة أبعد من ذلك ، وهى إمكان استخدام المفتاح الحدى فى عمليات قياس الأبعاد عن طريق تحويل المسافات إلى إشارات ضغطية نمطية . وبذلك يمكن استخدام يد الروبوت فى قياس ثخانة المشغولات بمجرد الإطباق عليها .

وفى كثير من الأحيان ، يمكن توحيد الإحساس بضغط القبض والإطباق فى عملية واحدة . ويمكن إنجاز ذلك على سبيل المثال ، باستخدام « تقنية العصب » tendon technology التى يجرى فيها تشغيل المحور القابض بواسطة كبلات cables موصلة بموتور مثبت عند قاعدة الروبوت . ويوجد تصميم من ابتكار « ميكروبوت » Microbot جرى فيه وضع المفتاح الحدى على نحو يتيح له الإحساس بالشد فى الكبل الذى يحكم حركة الإطباق ، وبذلك يمكن التحكم فى إطباق القابض . ويجرى ذلك عادة بتحويل فتحات القابض أو قوى الإطباق إلى ما يناظرها من نبضات مرحلية stepper pulses ، حيث تناظر الفتحة الكاملة للقابض على سبيل المثال عدد س من المراحل ، وكذلك يناظر أقصى قوة إطباق عدد ص من المراحل . ويمكن فى جميع الأحوال حساب عدد المراحل المطلوبة لكل من عمليتى الإطباق والضغط كنسبة من س مضافا إليها نسبة من ص بحسب درجة الفتح والضغط المطلوبة .

وهناك أسلوب آخر للإحساس بقوة إطباق القابض جرى تصميمه بمركز جامعة « أركانسو » للروبوتيات والأتمتة بالولايات المتحدة الأمريكية . وهو عبارة عن مستشعر كهربى – ضوئى electro-optic sensor مثبت إلى قابض مصنوع من مادة مرنة . ويوجد ثقب أو أكثر بمادة القابض يسمح بمرور الضوء من خلاله حيث يستقبله المستشعر . ويحدث فى حالة الإطباق أو الضغط تشوه فى شكل الثقوب على نحو يؤثر على كمية الضوء المارة ، وتكون النتيجة تحويل التغير فى كمية الضوء إلى إشارات كهربية لتشغيل الموتور تبعا لقوة الإطباق .

الخطوة التالية بعد تزويد الروبوت بمستشعر ضغط القبض ، إضافة نوع ما من آليات استشعار الوجود presence-sensing mechanisms ، تكون فى المعتاد فى هيئة خلية « فوتوفولطية » photovoltic cell . ويكون المكان الطبيعى لهذه الخلية على طرف القابض حتى يمكنها استشعار وجود الجسم المراد التقاطه . إلا أنه ولسوء الحظ ، يكون القابض عادة فى وضع الانتظار بعيدا بعض الشىء عن الجسم المستهدف ، ويكون الحل الوحيد هو توصيل الخلية بالروبوت بواسطة كبل كهربى .

ويمكن كذلك توزيع مجموعة من هذه المستشعرات على حدود النطاق المحدد لحركة الروبوت ، فتكون بمثابة سياج واق يحمى الروبوت من وجود أى عوائق فى سبيل حركته . ويزود بعض المنتجين خلاياهم الروبوتية بسياج وبوابة كهربية تعطى عند فتحها إشارة توقف للروبوت .

وبالرغم من أن المستشعرات « الكهرضوئية » تعتبر من أنسب مستشعرات وجود الأجسام وأبسطها ، فإنه توجد أنواع أخرى من مستشعرات الوجود التى تعمل بالأشعة تحت الحمراء infrared rays والتى تتميز بعدم إمكان خداعها بواسطة التشويش الضوئى الذى قد يأتيها من مصادر خارجية غير مستهدفة . إلا أنه ينبغى ضبط هذه المستشعرات على نحو لا تعمل معه إلا فى التوقيت الصحيح وعند استشعار الهدف المطلوب فقط .

وتوجد نبائط أخرى تعمل بترددات الراديو radio frequency devices على نحو تتأثر معه بحجم وموصلية الجسم المطلوب استشعاره . إلا أنه من عيوب هذه النبائط حدوث تشويش فى حالة كثرة وتنوُّع الأجسام المستهدفة .

الرؤية الروبوتية Robotic Vision

تعتبر الرؤية الصناعية من أكبر التحديات التى تواجه منتجى الروبوتات ، حيث تحتاج فى أغلب الأحوال إلى تقنيات معقدة ومرتفعة التكلفة . ورغم عدم طموح مصممى الروبوتات إلى المحاكاة الكاملة للعين البشرية ، فإن الوصول لبعض من قدراتها ، التى تكفى لإنجاز بعض العمليات الصناعية ، يعتبر من المهام الصعبة المطلوبة من أولئك المصممين . وقد أمكن فى الآونة الأخيرة ، وبالاستعانة بخوارزمات algorithms عالية المستوى تعظيم الاستفادة من مستشعرات الرؤية المتاحة بدرجة تكفى للحصول على المعلومات الضرورية لتشغيل الروبوت ، حتى فى الحالات التى تتواضع فيها مقدرة المستشعرات ، ولا ينتج عنها إلا خيالات ضعيفة التحديد .

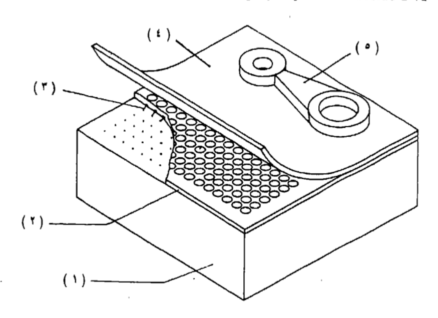
ونظرا لأهمية الموضوع وطرافته فسوف نتعرض فيما بعد للحديث بشىء من التفصيل عن نظرية الإبصار الآلى التى يعتمد عليها تصميم مستشعرات الرؤية الروبوتية .

الإحساس اللمسى Tactile Sensing :

الإحساس اللمسى عند الإنسان من الظواهر العجيبة التى حيرت العلماء . ورغم صعوبة تزويد أصابع الروبوت بمستشعرات تلامسية يمكنها التفرقة بحق بين

الأنواع المختلفة من الأنسجة والأسطح ، فإن العلماء لم ييأسوا من إمكان الحصول على بعض النتائج الإيجابية فى هذا المجال . ومن ذلك ، ما قام به « وليم د . هيليس » William D. Hillis و « جون هولرباك » John Hollerback بمعهد MIT الأمريكى ، حيث أمكنهما تزويد أصابع الروبوت بمستشعرات يمكنها التفرقة بين مسامير القلاووظ والصواميل والتيل وما أشبه .

وقد أمكن تطوير نظام استشعار لمسى باستخدام شبكة تلامس كهربية electrical contact grid . وتعتمد فكرة عمل الشبكة على المواد الكهرضغطية piezoelectric materials ، وهى المواد التى تصدر إشارات كهربية عند تشوهها بالضغط . ويبين شكل (٢ - ٨) شبكة من هذا النوع يستعمل فيها « البولى فينيلدين فلوريد polyvinylidene fluoride PVF كمادة « كهرضغطية » .



شكل (٢ - ٨) شبكة تلامس كهربية من النوع المستخدم فى المستشعرات اللمسية الروبوتية .

١ - صندوق موصل بالأرض ، ٢ - لوح من الدوائر الكهربية المطبوعة ، ٣ - موصلات كهربية ، ٤ - لوح PVF ، ٥ - الجسم المطلوب التعرف عليه .

الاتصال الصوتى *Voice Communication* :

من الأمور التى تدهش العامة وتثير خيالاتهم ، إمكان التخاطب أو الاتصال الصوتى مع الروبوت ، ولذلك عكف مصممو الروبوت على تطوير هذه المقدرة وحققوا فى ذلك بعض النجاحات . ويكاد يكون الاتصال الصوتى من الأمور اللازمة

للروبوتات الشخصية التى تعمل فى المنازل والفنادق وقطاع الخدمات بوجه عام . كما أنه يسهل أيضا إنجاز الأعمال فى خطوط الإنتاج الصناعية .

ويوجد نوعان من الاتصال الصوتى . أولهما ، أن يخاطب الإنسان الروبوت ، والثانى أن يخاطب الروبوت الإنسان . والنوع الأول هو الأكثر صعوبة ، لذلك سنبدأ بالأسهل . توجد عدة مداخل لتصميم نظام يسمح للروبوت بالتكلم . أحد هذه المداخل تخزين مقاطع صوتية لأصوات بشرية مسجلة يمكن استدعاؤها بواسطة برنامج حاسوبى . وبالرغم من أن الصوت بشرى فى حد ذاته فإنه يمكن تغيير التتابع وتوقيت إخراج المقاطع باستخدام الحاسوب . وهذا ما يجرى فى نظم الخدمات الهاتفية الناطقة . ومن الأمور المميزة لهذا النظام أن المقاطع المسجلة يمثل كل منها كلمة مكتملة .

وهناك مدخل آخر ، أكثر صعوبة ، وهو تخليق الحديث synthetize speech بتجميع عناصر صوتية تخليقية يطلق عليها « المصوتات » (الفونيمات) phonemes . ورغم احتواء الألفبائية الإنجليزية على ٢٦ حرفا فقط ، فإن وجود حروف العلة vowels الطويلة والقصيرة ، وتجميعات الحروف التى تنطق كصوت واحد مثل th و ph وما أشبه ، أمد المصممين بشفرات صوتية بلغت نحو ٦٤ « مُصَوِّتة » يمكنها تغطية كل كلمة منطوقة فى اللغة الإنجليزية . وقد استخدم فى معالجة « المصوتات » نظام التشفير الحاسوبى السداسى العشرى hexadecimal computer code ، حيث أمكن باستخدام هذا النظام الشفرى بناء نماذج صوتية منطوقة بواسطة الروبوت .

لقد كان من المستطاع ، وبسهولة نسبية ، تزويد الروبوت بمقدرة نطق الأصوات وتخليق الحديث ، إلا أن التحدى الكبير كان فى تمكين الروبوت من التعرف على الأصوات التى تبلغ مستشعراته الصوتية على نحو يجعله قادرا على الاستجابة لها . وتوجد صعوبات عديدة أمام إنجاز ذلك . فمن المعروف أن لكل إنسان بصمته الصوتية الخاصة التى تميزه من غيره ، ولذا يكون من الصعب على الروبوت تمييز كلمة ما إذا جاءه نطقها من أكثر من متحدث ، وذلك ما لم يبرمج على التعرف على هذه الكلمات ببصمات صوتية مختلفة وانحرافات صوتية مختلفة كذلك .

أما الصعوبة الثانية فتأتى من أننا نتفهم الكلمات فى إطار نص معين ، حيث إن ورود نفس الكلمة فى أكثر من نص يعطيها معانى مختلفة ، بل إن وجود النص أو معرفة غرض الحديث يساعد البشر على تخمين بعض الكلمات إذا أُسيء نطقها بسبب عجمة فى المتكلم . ولكن أنى للروبوت أن يتفهم ذلك ! فلو تصورنا أن الروبوت مبرمج لتفهم الكلمات باللغة الإنجليزية وتلينا عليه العبارة الآتية :

TIME FLIES LIKE AN ARROW

[الوقت يطير مثل السهم]

فإن الكلمات الثلاث الأولى في هذه العبارة يحتمل كل منها أن يكون فعلا للجملة . إذ تأتى TIME بمعنى « وَقت » (اسم) أو بمعنى فعل الأمر « وَقِّت » (فعل أمر بمعنى قدر الوقت) . وتأتى FLIES كاسم يعنى « ذبابات » أو كفعل يعنى « يطير » . أما LIKE فهى إما أن تعنى « مِثل » وإما أن تعنى فعلا بمعنى « يحب » .

وعلى ذلك سوف يتعذر على الروبوت التوصل إلى المعنى ، على حين يمكن فى وجود النص أن تُفهم العبارة بثلاثة أشكال مختلفة :

١ - الوقت يطير مثل السهم ، خاصة إذا كنت مستمتعا بشىء ما .

٢ - ذبابات الوقت تحب السهم . أنت تعرف أن ذبابات الفاكهة تحب الموز ، ولكنك لم تسمع أبدا عن ذبابات الوقت . فها أنا ذا أعرفك أنها تحب السهم .

٣ - وَقِّت للذبابات مثل السهم ، إذ يجب عليك أن تكون سريعا جدا عندما تُقدر الوقت للذباب لأنه يطير بسرعة كبيرة .

وخلاصة القول ، أن تزويد الروبوت بمقدرة فهم النصوص وانتقاء المعنى المطلوب مازال أبعد بكثير من الإمكانات التقنية المتاحة حاليا فى مجال إنتاج الروبوتات .

نظرية الإبصار الآلى :

لم يكن من المتوقع أن تتقدم إمكانات الإبصار الآلى فى الروبوتات بالسرعة التى حدثت بها ، وقد يرجع هذا فى المقام الأول إلى ضغط الضرورات التى أملت على منتجى الروبوت أن يقدموا حلولا اقتصادية « للعمى » الروبوتى الذى كان يعوق انتشار التطبيقات الروبوتية فى الكثير من المجالات .

ويختلف الإبصار الروبوتى ، أو ما يعرف تعميما بالإبصار الآلى ، اختلافا كبيرا عن الإبصار البشرى ، رغم أنه يستمد منه الكثير من أساسياته .

فخلافا للإنسان ، ليس مطلوبا من الروبوت إلا رؤية ما يفيده فقط ، وعلى ذلك ، فيجب تصميم نظام الإبصار الآلى للروبوت على نحو يجعله قادرا على تلبية احتياج العمليات التى يقوم بها الروبوت . كما أن معايير الجودة للصورة التى يراها الروبوت تختلف اختلافا كبيرا عن تلك التى تُقوّم بها جودة الصورة على شبكية العين

البشرية . كذلك فإن تكوين الصورة على « شبكية » الروبوت لا يعنى بالضرورة ترجمتها كما هى فى « العقل » الروبوتى ، وذلك خلافا لما يحدث فى الإنسان . إذ يكتفى العقل الروبوتى باستخراج ما يفيد وحدة التحكم من مفردات الصورة ويدع جانبا بقية المعلومات التى تشكل بالنسبة له ترفا لا داعى له .

وسوف نتعرض فيما يلى للمراحل الأساسية التى تشكل فى مجموعها نظرية الإبصار الآلى ، وهذه المراحل هى :

١ - الإضـــاءة	Lighting
٢ - تكوين الصورة	Image acquisition
٣ - مسح الصورة	Image scanning
٤ - الترقيـــم	Digitization
٥ - التحليـــل	Analysis

١ - الإضــاءة : تعتبر الإضاءة مرحلة مهمة من المراحل الممهدة لتكوين صورة جيدة للروبوت . ويختلف مفهوم جودة الإضاءة بالنسبة للصورة الروبوتية عن المفهوم المعتاد لذلك بالنسبة للبشر . فليست الإضاءة الجيدة الموزعة بانتظام هى أهم ما يطلب للحصول على صورة روبوتية جيدة . ولنأخذ مثالا لذلك ، ما يعلمه المتمرسون بأعمال الرصد الفلكى باستخدام المرقاب (التلسكوب) ، من أن أفضل تفاصيل لتضاريس سطح القمر يمكن التقاطها فى فترات اصفراره عندما تزداد زاوية ميل أشعة الشمس على سطح القمر فى مرحلة الشروق أو الغروب الشمسى ، وتكون هذه الصور أكثر تحديدا فى تفاصيلها من الصور التى يمكن الحصول عليها فى أوج استضاءة القمر واكتماله .

يفضل مهندسو الروبوتات فى أغلب الأحيان تخصيص مصدر إضاءة مستقل فى خ ؛ياهم الروبوتية ، وعدم الاعتماد على الضوء الموجود طبيعيا فى حيز العمل . وتس ـدم فى أحيان كثيرة الإضاءة الموضعية للتحكم فى تحديد التفاصيل أو حتى الاس ـفادة من الظلال الحادة فى بيان هذه التفاصيل .

وقد يلجأ المتخصصون أحيانا إلى إحاطة المشغولات بعدد من مصادر الإضاءة للتخلص تماما من وجود الظلال التى قد تعطى « للعين » الروبوتية انطباعا خاطئا عن وجود تفاصيل وهمية .

وهناك أسلوب آخر يُعرف بأسلوب « السيلويت » (الصور الظلية) silhouette ، وفيه يُسلط مصدر الضوء من خلف المشغولة للحصول على صورة

سوداء مصمتة شديدة التحديد للمشغولة . ويطبق هذا الأسلوب عندما تكون التفاصيل الداخلية للشكل غير مطلوبة ، ويكون المهم هو تحديد الإطار الخارجى (الكنتور) فقط للشكل .

أما فى الحالات التى تتطلب ظهور تفاصيل سطحية ، مثل المجارى والممرات والثقوب السطحية وما أشبه ، فتستبدل فيها الإضاءة الوجهية بالإضاءة الخلفية .

ومن الأمور الطريفة فى موضوع الإضاءة ، ما يحدث فى حالة تصوير الأسطح شديدة السواد وشديدة اللمعان فى الوقت نفسه .

إن العين البشرية يسهل عليها التمييز بسهولة بين البياض الناشىء عن لمعان جسم أسود وبين البياض اللونى الطبيعى . أما « العين » الروبوتية فلا يمكنها تمييز ذلك ، وعلى مهندسى الروبوت التحايل لنقل هذه المعلومة اللونية إلى « عقل » الروبوت بوسيلة ما .

٢ - **تكوين الصورة :** يمكن استخدام التقدم التقنى فى مجال التصوير الضوئى فى تصميم « الكاميرات » التليفزيونية وغيرها من آليات التصوير المناسبة للروبوت . وقد يجرى تثبيت آلة التصوير فى الأطراف الروبوتية أو فى أماكن قريبة من المشغولة فى الخلية الروبوتية . والأمر المهم ، هو اختيار الموضع الذى يمكن معه الحصول على التفاصيل المطلوبة فى الصورة .

ويقصد بتكوين الصورة فى التقنيات الروبوتية إمكان نقل التفاصيل المطلوبة على وسيط مناسب (قد يكون لوحا حساسا أو شاشة عرض أو شريط فيديو أو ما أشبه) تمهيدا لمسحها وتحليلها باستخدام أجهزة أخرى .

٣ - **مسح الصورة :** الخطوة الثانية بعد تكوين الصورة ، هى خطوة جمع البيانات الأولية التى سوف تُستخدم كمدخلات فى نظام المعلومات الخاص بالروبوت . فبعد أن تُسقط عدسات « الكاميرا » صورة الجسم على لوح استقبال زجاجى مكون من شبكة بالغة الدقة من مادة حساسة للضوء ، فإن كل موضع دقيق من هذه الشبكة يتبعث تلقائيا شحنة كهربية تتناسب مع شدة الضوء الساقط عليه . ويطلق على كل موضع من هذه المواضع « بيكسل » (عنصورة - مشتق من « عنصر الصورة ») pixel . ويجرى جمع الشحنة الكهربية من كل « بيكسل » بواسطة نظام يشتمل عادة على مدفعة مسح الكترونية scanning electron gun . ومن النظم النمطية المستخدمة فى هذا المجال نظام « راستر » raster system ، وهو مماثل لنظام المسح المستخدم فى « الكاميرات » التليفزيونية ذات اللونين الأبيض والأسود . ويبدأ النظام فى إعادة

تكوين الصورة باستخدام « البيكسلات » المجمعة . وتتوقف جودة الصورة على إمكان التمييز بين نقطتين متجاورتين تفصلهما مسافة بالغة الضآلة . وخاصية التمييز هذه تسمى « التحليل » أو « الوضوح » resolution ، وهو غير الثبات الذى تعرضنا له سابقا عند الحديث عن الدقة الحركية للروبوت .

وتتوقف درجة الوضوح فى الاتجاه الأفقى وفى الاتجاه الرأسى على عرض الشاشة وطولها ، وعلى عدد « البيكسلات » فى كل من الاتجاه الأفقى والاتجاه الرأسى . ويشتمل عادة نظام « راستر » على ٦٤٠ « بيكسل » فى الصف الأفقى وعلى ٤٨٠ « بيكسل » فى الصف الرأسى . ويجرى المسح للصفوف من اليسار إلى اليمين أفقيا ومن أعلى إلى أسفل رأسيا .

بالإضافة إلى خاصية « الوضوح » ، تستخدم أيضا خاصية « التباين » contrast لتحديد جودة الصورة المعاد تكوينها . ويعرف « التباين » بأنه مقدرة نظام المسح على استشعار الفرق فى « التظليل » بين « بيكسل » وآخر . ويمكن فى أقل نظم الرؤية الآلية جودة تسجيل حالتى « تظليل » لكل بيكسل باستخدام مستشعرين أحدهما للون الأبيض والآخر للون الأسود . ويعنى ذلك انعدام حالة اللون الرمادى بدرجاته المختلفة . وبالرغم من انخفاض جودة هذا النظام فإنه أمكن الحصول منه على نتائج جيدة للغاية عند استخدامه مع طابعات « المصفوفة النقطية » dot-matrix printers التى ابتكرت فى الثمانينيات ومازالت تستخدم حتى الآن رغم ابتكار طابعات الليزر laser printers .

وبالإضافة إلى النظام السابق ، توجد نظم أخرى أكثر تقدما يمكنها إعطاء من ٤ إلى ٨ درجات رمادية تتراوح ما بين الأبيض والأسود التام لكل « بيكسل » . إلا أنه من المدهش استخدام الطابعات العادية للحواسيب فى الحصول على تأثير مماثل للتدرج اللونى الرمادى ، وذلك باستغلال خاصية اختلاف كثافة تجميع الحروف والأرقام والعلامات فى الطابعة . فعلى سبيل المثال ، تكون كثافة حروف M فى الطابعة أكثر من كثافة حروف B ، وهذه أكثر من كثافة حروف I ، وهكذا . ويمكن استخدام هذه الظاهرة كما هو مبين بشكل (٢ - ٩) للحصول على إيحاءات لونية تماثل الدرجات الرمادية المختلفة .

وتبدو الصورة عادة من بعيد بشكل أفضل منها عن قرب فى الحالات التى تكون فيها درجة الوضوح الأفقى ١٠ بيكسل / بوصة والوضوح الرأسى ٦ بيكسل / بوصة .

```
MMMMMMMMMM     BBBBBBBBBB     IIIIIIIIII
MMMMMMMMMM     BBBBBBBBBB     IIIIIIIIII
MMMMMMMMMM     BBBBBBBBBB     IIIIIIIIII
MMMMMMMMMM     BBBBBBBBBB     IIIIIIIIII
MMMMMMMMMM     BBBBBBBBBB     IIIIIIIIII
MMMMMMMMMM     BBBBBBBBBB     IIIIIIIIII
```

شكل (٢ – ٩) مقارنة بين كثافة طباعة الأحرف الألفبائية بواسطة طابعة حاسوبية .

وقد أدى اختزال الألوان photoreduction إلى تحسين « الوضوح » والحصول على نتائج ممتازة .

وقد يكون استخدام مدى رمادى متسع مثاليا من ناحية إمكان الحصول على صورة أكثر واقعية ، إلا أنه فى الأغراض الصناعية فإن نظام « البيكسلات » البيضاء والسوداء البسيط هو الأنسب ، ناهيك عن رخص سعره . ولنتذكر دائما أن الهدف من الرؤية الآلية هو الحصول على صورة مفيدة وليس الحصول على صورة جميلة .

وفى جميع الحالات ، يجب على مهندس الأتمتة أن يختار نظام الرؤية الآلية بحسب التطبيق المطلوب . فلو كان المطلوب ، على سبيل المثال ، التأكد من « وضع » مشغولة معروفة الشكل ، فيكفى فى هذه الحالة استخدام نظام يمكنه تحسس « الحواف » فقط . وليس من المهم استكشاف نظام الرؤية إذا ما كان هذا الجسم رماديا أسود فى المناطق القريبة من هذه الحواف .

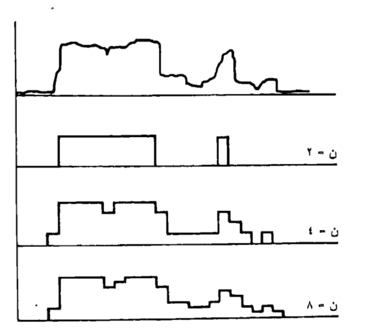
وللمبالغة فى درجة « الوضوح » مساوئها أيضا ، فإن اختيار مهندس الأتمتة نظاما للرؤية بالغ « الوضوح » فى أحد التطبيقات التى لا تحتاج إلى ذلك ، إنما يحمل مشروعه أعباء مالية لا لزوم لها . ولا يقتصر الأمر على ذلك ، إذ أن « الوضوح » قرين « التكبير » . ويؤدى التكبير عادة إلى إظهار بعض التفاصيل بصورة مبالغ فيها ، مثل خشونة السطح فى فجوة ضئيلة بين « الكترودين » . إن ظهور هذه التفاصيل التى لا لزوم لها قد يعوق العملية بدلا من أن يحسنها .

٤ – **الترقيم** : يعتبر المستشعر الذى يقوم بجمع الصورة لنظام الرؤية الآلى من النبائط التناظرية analog devices ، على حين يمثل الحاسوب الذى يعيد تكوين الصورة نبيطة رقمية digital device . ومن هنا تأتى المشكلة . إذ أن إشارات النبائط التناظرية إشارات متصلة ، بينما الإشارات الرقمية إشارات متقطعة . وهنا ينبغى التدخل لتحويل الإشارات التناظرية إلى ما يقاربها رقميا حتى يمكن تخزينها وتحليلها بواسطة الحاسوب . وتوجد أجهزة يمكنها القيام بهذا العمل ليس المجال هنا ملائما لشرحها ، وإنما سنكتفى بتوضيح « المفهوم » .

وتقوم عملية الترقيم بتحويل العدد اللانهائى من معطيات الإشارة التناظرية إلى عدد صحيح من ١ إلى ن ، حيث تمثل ن درجة التدرج الرمادى الذى يمكن للنظام التعرف عليه . ومن ناحية أخرى ، فلا بد أن تتخذ ن الاحتمالات الأسية للرقم ٢ لأن نظام الرؤية الآلية قد جرى تصميمه ليختزن بيان الصورة المرقمة فى مسجلات ثنائية binary registers . أى أن قيم ن النمطية هى ٢ ، ٤ ، ٨ ، ٦٤ ، ٢٥٦ ، وهى التى تقابل مسجلات ثنائية أطوالها ١ ، ٢ ، ٣ ، ٦ ، ٨ على الترتيب . لا يحتوى المستوى الأول ن = ٢ على أية إمكانات رمادية إذ لا يمكنه الاحتفاظ إلا بمكانين لونيين هما الأبيض والأسود . رغم ذلك ، لا يزال هناك قبول لاستخدام هذا المستوى نظرا لرخصه وبساطته وعدم احتياجه لسعة تخزين كبيرة ، وفوق ذلك مناسبته لعدد كبير من التطبيقات الصناعية .

ويبين شكل (٢ - ١٠) مقارنة بين عمليات ترقيم مختلفة ذوات المستويات ن = ٢ ، ٤ ، ٨ لنظام مسح من طراز « راستر » ذى ٣٢ وحدة « بيكسل » فى جهاز إبصار آلى .

يلاحظ من الشكل ، اختفاء عدد كبير من التفصيلات عند المستوى ن = ٢ ، إلا أنه يلاحظ أيضا أن هذا المستوى لا يستغل سوى ٢٥ ٪ من السعة التخزينية الحاسوبية التى يستعملها المستوى ن = ٨ .



شكل (٢ - ١٠) ثلاثة تقريبات رقمية لنفس الإشارة التناظرية المتصلة التى تمثل شدة الضوء فى نظام لمسح الصورة .

ويجرى عادة تخزين البيانات التى أمكن الحصول عليها فى مرحلة تكوين الصورة ، بكل تبايناتها الرمادية ، حتى يمكن إجراء التجارب اللونية عليها فى مرحلة التحليل .

٥ -**التحليل** : يمكن البدء فى تحليل الصور فور الانتهاء من مرحلة الترقيم وتخزين البيانات المسحية فى الحاسوب . ومن أهم العمليات فى هذا المجال « النوفذة » (أو صنع نافذة) windowing . والنوفذة معروفة فى الحواسيب باعتبارها « تحييدا » لجزء من شاشة العرض الحاسوبية بغرض التركيز على هدف معين من صورة أو بغرض عرض معلومات إضافية على الشاشة ذاتها ؛ لتساعد مستخدم الحاسوب فى إنجاز العملية الأساسية . أما فى حالة نظام الإبصار الآلى ، فإن الغرض من « عمل نافذة » هو تركيز التحليل على مساحة صغيرة من الصورة توفيرا لوقت تشغيل الحاسوب وترشيدا لحجم التخزين فى الذاكرة . ومن الطريف أن الإنسان يقوم بتلقائية بعمل « نوفذة » ، فهو يستطيع تركيز بصره على مساحة محدودة مع احتفاظه فى الوقت نفسه ببقية الصورة فى مجال رؤيته ، ويمكنه بسهولة نقل دائرة (نافذة) تركيزه على أية مساحة أخرى فى المجال إذا بدا له أمر يثير اهتمامه . ويكون للعقل البشرى دور كبير فى مراقبة المجال خارج « النافذة » أثناء عملية التركيز على الهدف داخلها .

ويوجد نوعان من « النوفذة » . ففى غالبية التطبيقات العملية تستخدم « النافذة الثابتة » ، أى التى لا يتغير وضعها داخل الصورة . وينبغى فى هذه الحالة اتخاذ وسائل مساعدة لضبط وضع المشغولات وتوجيهها على نحو يجعل الهدف المطلوب داخل إطار النافذة .

أما فى نظم الإبصار الآلى الأكثر تعقيدا ، فيجرى تزويد النظام بإمكانات « نوفذة مهايئة » adaptive windowing . ولا يحتاج هذا النظام إلى أى تجهيزات مساعدة لضبط وضع المشغولات ، إذ يجرى البحث فى الصورة بأكملها عن علامات معروفة يمكن بها تمييز وضع واتجاه المشغولة . ويمكن عندئذ استخدام هذه العلامات فى تحديد نطاق الاهتمام الذى سوف تشغله النافذة ، ثم تسير الأمور بعد ذلك كما فى حالة النافذة الثابتة . ولا تخفى بالطبع الفوائد الكبيرة المترتبة على تطبيق هذا النظام ، حيث يتم الاستغناء عن التجهيزات المساعدة وتقل بشكل كبير تكلفة المنتج . وقد أمكن تجربة النظام بنجاح فى عمليات انتقاء مشغولات معينة من صندوق به أكوام عشوائية من القطع المختلفة bin-picking . وقد تبدو هذه العمليات سهلة للبشر ، إلا أنها بالغة الصعوبة بالنسبة للروبوت .

أيا ما كان نوع النافذة (ثابتة أم مهايئة) ، فإنه يجرى ضبط مساحتها بحسب التطبيق . ويمكن تصغير المساحة حتى « بيكسل » واحد ، إذا ما أريد فقط تحديد درجة الرمادية فى عينة مفردة . إلا أن ذلك لا يكفى عادة من الناحية العملية ، إذ أنه من المحتمل فشل بعض القراءات بسبب ما قد يعترى المستشعرات من تغيرات أو ما قد يحدث من عدم انتظام فى سطح الهدف أو فى الإضاءة . ولذلك تتسع النافذة عادة لعدة « بيكسلات » ، ويجرى حساب درجة الرمادية المتوسطة لها ، حتى فى الحالات التى تحتاج فقط إلى القياس فى نقطة .

وكلما زادت إمكانات نظام الإبصار الآلى وتعددت أهدافه ، حدثت بعض التضحيات أو (التنازلات) بشأن سرعة التحليل . فعلى سبيل المثال ، يحدث عند القيام بفحص مجموعة كبيرة من الأهداف باستخدام نظام إبصار بالغ التقدم ، حتى مع الاستعانة بمنظومات الذكاء الاصطناعى ، أن تتراجع سرعة التحليل ما لم يتم التضحية ببعض الأغراض للحصول على السرعة المناسبة .

وبمجرد الانتهاء من تحديد نافذة الفحص فى الصورة المعاد تكوينها ، يمكن الشروع فى عمل التحليلات التى تزيد من درجة التعرف على الهدف وتصفه بمزيد من التفصيل . ومن أهم أساليب التحليل هذه ما يعرف « بالبداءة » thresholding . وتعنى « البداءة » فى نظرية الإبصار الآلى اختزال الصورة إلى « بيكسلات » ثنائية ، بيضاء أو سوداء فقط .

و« البداءة » هى أقدم وأبسط طرق التحليل المعروفة وأكثرها فاعلية . ويرجع السبب فى شعبيتها الكبيرة ، وخاصة فى الأجيال الأولى من نظم الإبصار الآلى ، إلى أنه يمكن بها غربلة وتمييز التغييرات التى تسجلها نظم الاستشعار المختلفة .

ونسوق هنا مثالا طريفا لبيان إمكانات طريقة التحليل بالبداءة فى تمييز الأهداف المطلوبة . لنفترض أن المطلوب إمساك « حية » رمادية تزحف على أرضية من بلاط « السيراميك » الأبيض والأسود والمصمم بنظام تبادلى مثل رقعة « الشطرنج » . فى هذه الحالة يخصص « للبيكسلات » البيضاء والسوداء فى الأرضية الرقم ١ (الأبيض) ، أما « البيكسلات » التى تقع فى النطاق الرمادى بين « بداءتين » two thresholds فتعطى الرقم صفر (الأسود) . سوف يؤدى هذا التصرف إلى تحويل الصورة إلى « حية » سوداء على بلاط أبيض ، مما يسهل الامساك بها .

أما فى التطبيقات الصناعية ، فإنه بالاختيار الجيد لنوعين من البداءة يمكن الحصول على درجة رمادية مناسبة ، وبالتالى يمكن التقاط هدف محدد فقط مختلف فى لونه عن الأهداف الأخرى أو عن الأرضية . من أجل هذا ، يجرى تصميم نظم

البداءة على نحو تستوعب معه « بداءتين » . ويمكن فى الحالات التى يرغب فيها المستخدم فى الحصول على مستوى بداءة مفرد أن يقوم بضبط إحدى « البداءتين » إما إلى أقصى يسار أو إلى أقصى يمين تدريج الاستضاءة brightness scale . أما فيما عدا ذلك ، فيتعذر الحصول على تطبيق صناعى يمكن فيه استخدام نظام إبصار آلى لا ينتج غير صورة ثنائية .

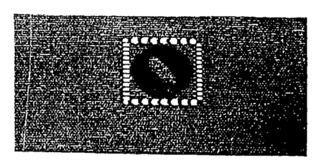
ويؤدى الاختيار الصحيح « للبداءة » المطلوبة فى نظام الإبصار الثنائى إلى نجاح التطبيق الروبوتى . إلا أن مسألة الاختيار هذه ليست مسألة سهلة ، إذ يكتنفها بعض الخداع . فلو جرى اختيار « بداءة » ما ، تقع بالضبط فى المنتصف بين أقصى إضاءة وأقصى إظلام ، فقد يؤدى ذلك إلى الحصول على صورة معتمة تماما إذا كان الضوء والظلام كلاهما واقعين أسفل المدى المتوسط . ولذلك تحتاج نظم الإبصار الآلى إلى بعض الذكاء فى اختيار « البداءة » المناسبة ، سواء كان الاختيار عن طريق الإنسان أو عن طريق « خوارزم » algorithm مناسب جرت برمجته داخل آلة الإبصار .

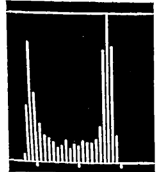
ومن الطرق الشائعة فى اختيار البداءة طريقة « الأعمدة البيانية » histogramming . وتعتمد فكرتها على إنشاء الأعمدة التكرارية (كما فى علم الإحصاء) التى يمثل كل منها أعداد « البيكسلات » عند كل درجة رمادية داخل النظام . فلو كانت الصورة ببساطة عبارة عن جسم معتم على أرضية مضيئة ، لجاءت الأعمدة البيانية « ثنائية الهيئة » bimodal كما يظهر فى شكل (٢ - ١١) .

ويلاحظ عدم وجود ارتباط بالضرورة بين شكل التوزيع البيانى التكرارى وبين شكل الجسم ، إذ يحدث فى بعض الأحيان اتفاق شكلين مختلفين تماما فى أعمدتهما البيانية ، كما يتضح من شكل (٢ - ١٢) .

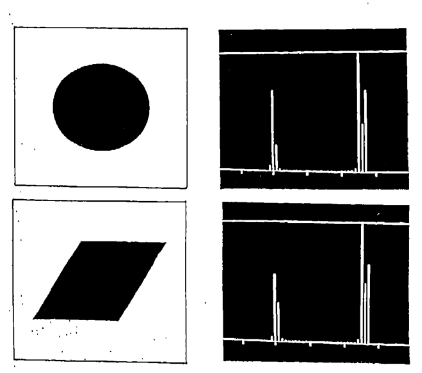
ورغم ذلك ، يمكن استخدام طريقة الأعمدة البيانية فى انتقاء الأشكال ، وذلك فى الحالات التى تختلف فيها درجة رمادية الشكل عن الأشكال الأخرى غير المطلوبة ، أو فى الحالات التى يعرف فيها على وجه التقريب عدد « بيكسلات » الشكل مقارنة بالأعداد الخاصة بالأشكال الأخرى .

يمكن باستخدام « الخوارزمات » المناسبة توسيع قاعدة الاستفادة من تقنيات « البداءة » وطريقة الأعمدة البيانية فى التعرف على الأشكال . وسوف نسوق فيما يلى نموذجا طريفاً يوضح كيفية الاستعانة « بالخوارزمات » مع تقنيات التحليل الأخرى فى التعرف على أوضاع المشغولات فى خطوط الإنتاج ، وبالتالى إمكان تصحيح هذه الأوضاع بمساعدة الروبوت .



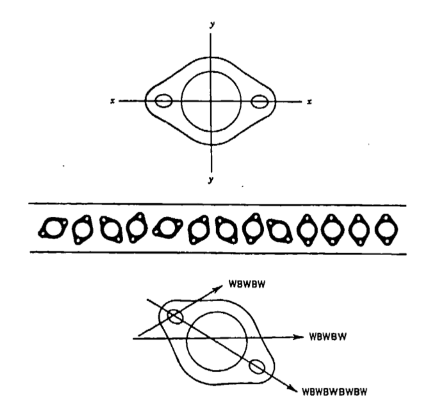


شكل (٢ - ١١) أعمدة بيانية ثنائية الهيئة تمثل حالة جسم معتم على أرضية مضيئة .



شكل (٢ - ١٢) عدم ارتباط شكل الجسم بالتوزيع البيانى التكرارى لأعمدة البيكسلات ، فى كل درجة رمادية . (كل من الدائرة والمعين لهما نفس التوزيع) .

يُستخدم فى هذا النموذج أحد « خوارزمات » التعرف على الأشكال لحل مشكلة تصحيح أوضاع مجموعة كبيرة من « حابكات الزيت » oil gaskets الموضوعة على سير ناقل فى خط إنتاج ، حيث يلزم توجيه القطر الأكبر لكل حابك على نحو يجعله موازيا لمحور السير . انظر شكل (٢ - ١٣) .



شكل (٢ - ١٣) استخدام « خوارزم » التعرف على الأشكال فى اختيار الاتجاه الصحيح لوضع « حوابك الزيت » بالنسبة لخط الإنتاج .

تعتمد فكرة « الخوارزمات » على عمل مسح بواسطة مجموعة من الخطوط المستقيمة التى تخترق حدود الشكل « الثنائى » بصورة عشوائية بحثا عن « أطوال المسارات » run-lengths التى تصل بين « البيكسلات » البيضاء أو السوداء فى الشكل . وتجرى الاستعانة بحاسوب سريع يقوم بعمل خطوط مستقيمة بزوايا مختلفة لاختراق الشكل بحثا عن المحور الأساسى الكبير س - س (انظر الشكل) ، الذى يتضمن التتابع التالى من المسارات التى تصل بين « البيكسلات » البيضاء والسوداء :

أبيض - أسود - أبيض - أسود - أبيض - أسود - أبيض - أسود - أبيض

إذا أعطينا اللون الأبيض الرمز W والأسود الرمز B ، يكون التتابع كما هو ظاهر بشكل (٢ - ١٣) على النحو التالى :

W B W B W B W B W

اللون الأبيض الأول والأخير فى السلسلة يمثلان الأرضية خارج حدود الشكل . ويوجد بالإضافة إلى ذلك ثلاثة مسارات بيضاء (تصل بين « بيكسلين » أبيضين) أخرى فى السلسلة ، اثنان منها يمران بالثقبين الصغيرين فى الحابك والثالث (الأطول) يمر بالثقب الكبير المركزى . بمجرد تعرف نظام الإبصار على المحور المطلوب فإنه يرسل فورا إشاراته إلى قابض الروبوت لتعديل وضع المحور فى الاتجاه الصحيح .

أما إذا أريد تحسين درجة الدقة فى وضع الحابك ، فلا يكتفى عادة بمجرد تطابق عدد المسارات مع العدد المقدر للمحور ، وإنما يلى ذلك البحث عن أطول خط مسار يصل بين بداية ونهاية التتابع السابق باعتبار القطر الكبير هو أطول خط مستقيم داخل حدود الشكل .

كذلك يمكن الاستغناء عن البحث بوجه عام عن عدد التتابعات الصحيحة الممثلة بالمحور والاكتفاء بتحرى أطول مستقيم يصل بين تتابعات من النوع :

W B W B W B W

إذ تمثل هذه التتابعات فى واقع الأمر أطول خط مستقيم يخترق الشكل . ويمكن استخدام هذه الطريقة حتى فى الحالات التى لا يوجد فيها ثقوب . إذ يمثل « البيكسل » الأسود ، الأول والأخير ، الحافتين الداخليتين للشكل المطلوب تحسين وضعه .

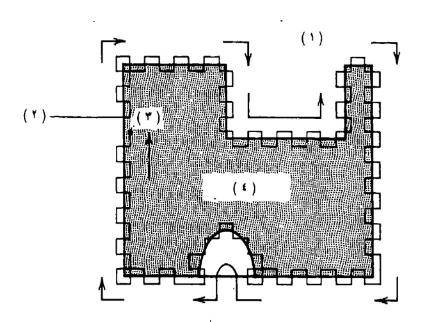
والمجال متسع ورحب أمام منظومات الذكاء الاصطناعى لترشيد عملية البحث والاستغناء عن الأسلوب العشوائى فى تمرير المسارات .

وفى الحالات التى تتطلب البحث عن الحدود الخارجية لشكل من الأشكال ، أمكن تطوير نوع من « الخوارزمات » الذى يستخدم « المنطق الثنائى » binary logic ، ويطلق عليه خوارزم « تحسس الحافة » edge detection algorithm .

تعتمد فكرة الخوارزم على البحث عن أى « بيكسل » يقع على حافة الشكل المراد التعرف عليه . ويتخذ من هذا « البيكسل » (الأسود أو الرمادى عادة) مرجع ونقطة انطلاق لتتبع خطوط الحافة بواسطة سلسلة من المحاولات المحكومة التى تضمن عدم ابتعاد مسار البحث عن الحافة إلا فى حدود بالغة الضآلة . وينتهى البحث

عادة بالوصول مرة أخرى إلى « بيكسل » البداية . ويتم أثناء هذه العملية رسم الخطوط التقريبية المحددة لحواف الشكل المطلوب .

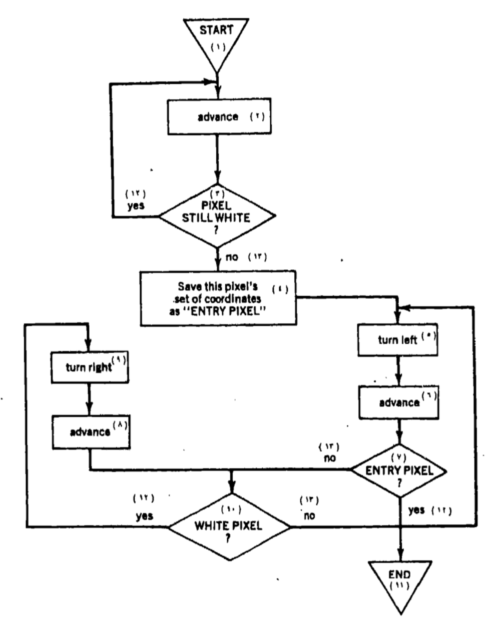
ويبين شكل (٢ - ١٤) مثالا لتطبيق خوارزم « تحسس الحافة » . وتظهر فى الشكل صورة ثنائية يبدو فيها الجسم معتما (ثنائى رقم ١) والخلفية مضاءة (ثنائى رقم صفر) . يبدأ العمل بمسار مستقيم عبر الخلفية حيث يختبر كل « بيكسل » فى طريقه ويحدد ما إذا كان معتما أم مضيئا . يتصل المسار مادامت النتيجة « بيكسل » مضيئا . وما إن يدخل المسار فى المنطقة المعتمة حتى يتلقى أمرا بتغيير طريقه والعودة مرة أخرى بحثا عن الحافة التى يدركها هذه المرة بمجرد التقائه « ببيكسل » مضىء مرة أخرى ، وهكذا دواليك ، إلى أن يلتقى « بالبيكسل » المرجع الذى بدأ به مشواره .



شكل (٢ - ١٤) خوارزم « تحسس الحافة »
(١) الخلفية (أبيض) ، (٢) البداية ،
(٣) النهاية ، (٤) الجسم الأسود

وإتماما للفائدة ، نسوق فيما يلى المخطط المنطقى لتتابع الأوامر والشروط التى تبرمج فى الحاسوب لتوجيه عملية المسح الخطى فى نظام الإبصار الآلى المقترح .

لقد استعرضنا فيما سبق أهم مراحل وأساليب الإبصار الآلى ، وهناك العديد من الطرق الأخرى التى تم تطويرها ولا يتسع المجال للخوض فيها .



شكل (٢ - ١٥) المخطط المنطقى لعملية « تحسس الحافة » الموضحة فى شكل (٢ - ١٤) .

١ - ابدأ ، ٢ - تقدم ، ٣ - هل « البيكسل » مازال أبيض ؟ ٤ - احتفظ بإحداثيات هذا « البيكسل » باعتباره « بيكسل الدخول » ، ٥ - اتجه يسارا ، ٦ - تقدم ، ٧ - هل هذا هو « بيكسل الدخول » ؟ ٨ - تقدم ، ٩ - اتجه يمينا ، ١٠ - هل هذا « البيكسل » أبيض ؟ ١١ - انته ، ١٢ - نعم ، ١٣ - لا .

ونحن إذ نعتذر للقارىء المتخصص عن عدم استكمال تفاصيل هذا الموضوع الحيوى فى الرّوبوتية ، فإننا نعتذر أيضا للقارىء غير المتخصص عن الاستفاضة بعض الشىء فى نظرية الإبصار الآلى ، وذلك بسبب جدتها وطرافتها .

وقد أمكن مع التقدم الكبير الذى حققه الإبصار الآلى غزو مجالات صناعية حيوية ، مثل صناعة الإلكترونيات وعمليات الفحص والتفتيش على الجودة ، وحتى صناعة الملابس الجاهزة وبعض التطبيقات الزراعية الأخرى ، مما سوف نتحدث عنه فى الفصل المخصص لاستخدامات التقنيات الروبوتية .

البرمجــــة :

تُعتبر البرمجة من أهم خصائص التقنيات الروبوتية ، حيث يتميز الروبوت الحديث بإمكان إعادة برمجته للقيام بمهام مختلفة . وهذا بالقطع ما كانت تفتقده المناولات الميكانيكية الأولية التى انتشرت فى خطوط الإنتاج قبل عام ١٩٧٠ – أى قبل ظهور الروبوتات الحديثة .

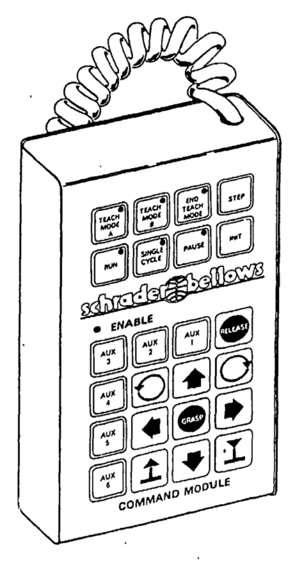
وسوف نستعرض فيما يلى الخطوط العامة للبرمجة الروبوتية .

يجرى برمجة بعض الروبوتات بطريقة يدوية ، وذلك بغرس أوتاد موصلة فى اسطوانة البرمجة لتشغيل مفاتيح كهربية بتتابع محدد . ويجرى برمجة أنواع أخرى باستخدام « لهجات » مختلفة من اللغات الحاسوبية المعروفة والمتعددة الأغراض مثل لغة « بيسك » . إحدى هذه « اللهجات » dialects تمثلها اللغة الروبوتية المعروفة ARMBASIC التى اشتق اسمها من كلمتى « ذراع » ARM و« بيسك » BASIC ، وقد أعطتها هذا الاسم الشركة الأمريكية « ميكروبوت » Microbot صاحبة حق الابتكار . ومن اللغات الأخرى الشائعة والتى تعتمد أيضا على لغة « بيسك » ، اللغة الروبوتية التى ابتكرتها شركة « آى . بى . إم » IBM الأمريكية وأطلقت عليها لغة « أيه . إم . إل » AML واستخدمتها فى روبوتاتها من طراز « سكارا » SCARA .

وقد ابتكرت أيضا شركة « يونيماشن » Unimation لغة أسمتها « فال » VAL واستخدمتها فى سلسلة روبوتاتها من طراز « بوما » PUMA .

ويجرى تشغيل أغلب الروبوتات عن طريق صندوق تحكم محمول يطلق عليه « علاقة التوجيه » teachpendant . ويقوم العامل بتشغيل الروبوت وتوجيه حركته بواسطة الضغط على أزرار الصندوق . وهذا الصندوق يشبه مثيله المستخدم فى توجيه حركة الأوناش العلوية فى المصانع ، إلا أنه يتفوق عليه كثيرا من ناحية إمكان إعطائه أوامر للروبوت بتذكر نقاط محددة فى مسار الحركة على نحو يمكنه من تكرارها . كذلك يمكن بواسطة الصندوق التحكم فى تزامن العمليات بواسطة المؤقتات timers ، وإصدار الأوامر بناء على الإشارات الواردة إليه من مستشعرات

خارجية ، وإرسال إشاراته الخارجية إلى معدات التشغيل الأخرى المحيطة بالروبوت . ويبين شكل (٢ - ١٦) نموذجا لهذا الصندوق .



شكل (٢ - ١٦) صندوق محمول للتوجيه الروبوتى

وننتقل الآن إلى درجة أكثر تقدما فى مجال البرمجة ، حيث تجرى بالسيطرة على طرف الذراع الروبوتى وتدريبها على القيام بتتابع محدد من العمليات فى دورة تشغيل « جاف » (بدون إنتاج) dry run cycle . يؤمر الروبوت أثناء ذلك بتذكر كل الحركات التى تعلمها فى مرحلة التدريب ، وتكرارها عندما يطلب منه ذلك . ويوافق هذا النوع من البرمجة عمليات اللحام وعمليات الطلاء بالرش ، حيث يمكن لأحد

العمال المهرة تعليم الروبوت كيفية ضبط الحركات ، فيستفاد بذلك من إمكانات المهارة اليدوية ، وإمكانات المثابرة والتكرار والدقة المتوافرة لدى الروبوت . ويعيب هذه الطريقة الصعوبة التى يواجهها العامل الذى يقوم بتدريب الروبوت بسبب ثقل الذراع الروبوتية الأصلية والمشقة المطلوبة لتحريكها ، مما يفقد العامل الإحساس الحقيقى بالعملية الأصلية والمقدرة على السيطرة على أدواته .

للتغلب على هذه الصعوبة ، ابتكر المنتجون ذراعا للتدريب training arm يطلق عليها أحيانا « الروبوت الزائف » dummy robot . وهى تحاكى تماما الذراع الأصلية إلا أنها مصنوعة من مكونات هيكلية خفيفة يستشعر من يحركها الحرية الكاملة فى حركة يده بحيث لا يشغله إلا سيطرته على أدوات العمل . ويجرى نقل التحركات من « الروبوت الزائف » إلى وحدة التحكم الخاصة بالروبوت الحقيقى حيث تسجل وتحفظ بالذاكرة لحين استعادتها .

يستخدم بعض المتخصصين مصطلح « البرمجة بالصحبة » leadthrough programming و « البرمجة المحمولة » walkthrough programming للتعبير عن البرمجة « بعلاقة التوجيه » (صندوق التوجيه) ، وللتعبير عن البرمجة بذراع التدريب ، على التوالى ، باعتبار أن البرمجة بالصندوق تتطلب مصاحبة العامل للروبوت وتوجيهه من الخارج ، على حين يؤدى استخدام ذراع التدريب إلى برمجة الروبوت الأصلى داخليا وكأنه يحمل برنامجه معه .

ورغم ذلك ، كثيرا ما يحدث الخلط ، حتى بين المتخصصين ، بين المصطلحين . ولذلك نؤيد ما ذهب إليه « راى أسفال » C.Ray Asfahl فى مرجعه Robots And Manufacturing Automation من ضرورة الاكتفاء بتحديد ما إذا كانت البرمجة تتم عن بعد بواسطة « علاقة توجيه » أو تتم بتدريب ذراع الروبوت ، لأن هذا التحديد يمنع اللبس الشائع بين المصطلحين ، بالإضافة إلى أن ذلك أقرب للتعبير عن وسيلة البرمجة من المصطلحين السابقين .

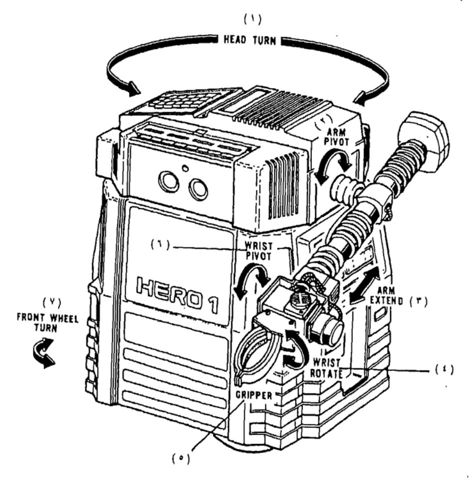
أما فى نظم البرمجة بالغة التقدم فتحدث المزاوجة عادة بين نظامى البرمجة المذكورين آنفا .

وفى هذه الحالة يوجه الروبوت إلى المواقع الثابتة باستخدام « علاقة التوجيه » ، أما المسارات المعقدة التى تشتمل على انحناءات وتعاريج فيجرى برمجتها بالتدريب باستخدام بعض البرامج الحاسوبية الجاهزة .

ولذلك تصمم بعض الروبوتات المتنقلة على نحو تثبت فيه لوحة مفاتيح البرمجة

keyboard programming إلى الروبوت . وبذلك يجمع الروبوت بين جهاز برمجته ووحدة التحكم الحاسوبية فى هيكل متنقل واحد .

ويبين شكل (٢ - ١٧) الروبوت الشخصى « هيرو - ١ » Hero 1 ذا لوحة البرمجة المحمولة .



شكل (٢ - ١٧) روبوت متنقل طراز « هيرو - ١ » ذو لوحة مفاتيح برمجة من النوع المحمول .

١ - دوران الرأس ، ٢ - محور الذراع ، ٣ - إمتداد الذراع ، ٤ - دوران الرسغ ، ٥ - القابض ، ٦ - محور الرسغ ، ٧ - دوران العجلة الأمامية .

٥ - ٤ اللغات الروبوتية Robotic Languages

تحدثنا فى البند السابق عن أساليب البرمجة الروبوتية ، وسبق أن أشرنا إلى بعض اللغات الروبوتية الشائعة التى تستخدم فى برمجة « علاقات التوجيه » أو فى البرمجة الحاسوبية عن طريق لوحات المفاتيح . ويطلق على اللغات الروبوتية التى

يبرمج بها الروبوت عن طريق الحاسوب خارج الخط Off-line ، اللغات « النصية » . textual languages

ولا نزعم إمكان شرح تفاصيل هذه اللغات فى هذا المقام ، ولكن سوف نكتفى بالتعرض للمبادىء والمفاهيم التى أمكن استخلاصها من التنوعات الكبيرة لهذه اللغات .

ظهرت أول اللغات « النصية » الروبوتية عام ١٩٧٣ تحت اسم « ويف » WAVE كلغة تجريبية خاصة بالبحوث فى معمل « ستانفورد » للذكاء الاصطناعى Stanford Artificial intelligence Lab ، حيث كانت تجرى التجارب على المزاوجة بين الروبوت ونظام إبصار آلى . وقد أبرزت النتائج فى ذلك الحين جدوى التنسيق بين « العين » و« اليد » الروبوتية . وقد تلا ذلك ظهور لغة ثانية عام ١٩٧٤ سميت « ايه . إل » AL أمكن استخدامها فى نظم التحكم التى تستهدف التنسيق الحركى فى الروبوتات متعددة الأذرع .

ولقد أسهم ظهور هاتين اللغتين فى تطوير كثير من المفاهيم التى سادت اللغات النصية التجارية بعد ذلك ، أمثال لغة « فال » التى تحمل الحروف الأولى من عبارة « لغة فيكتور للتجميع » Victor's Assembly language نسبة إلى مبتكرها « فيكتور شنمان » Victor Scheinman . وقد ظهرت لغة « فال » عام ١٩٧٩ بعد أن استخدمتها شركة « يونيماشن » الأمريكية فى عائلة روبوتاتها من طراز PUMA . وقد أعيد تطوير هذه اللغة وظهرت مرة أخرى فى الأسواق تحت اسم « فال – ٢ » VAL. II . وقد عكفت شركة « آى . بى . إم » الأمريكية كذلك على تطوير لغاتها الروبوتية اعتبارا من عام ١٩٧٦ ، فظهر لها لغتا « أوتو باس » AUTOPASS و« ايه . إم . إل » AML التى تحمل الحروف الأولى من عبارة A Manufacturing Language أو « لغة للتصنيع » . وقد أصبحت هذه اللغة الأخيرة سائدة فى الأسواق منذ عام ١٩٨٢ ، مع الروبوتات التى أنتجتها الشركة لاستخدامها فى أعمال التجميع الصناعى..

ومن اللغات النصية الأخرى التى يجب عدم إغفالها فى هذا السرد التاريخى لغة « ريل » RAIL التى ظهرت عام ١٩٨١ من إنتاج « أوتوماتكس » Automatix لاستخدامها فى عمليات التجميع الروبوتى واللحام القوسى ونظم الإبصار الآلى . وكذلك لغة « إم . سى . إل » MCL التى تحمل الحروف الأولى من عبارة « لغة التحكم التصنيعية » (الإنجليزية) Manufacturing Control Language والتى ابتكرها « ماكدونل دوجلاس » McDonnell-Douglas لسلاح الجو الأمريكى كتحسين

للغة « ايه . بى . تى » APT التى تحمل الحروف الأولى من العبارة الإنجليزية Automatically Programmed Tooling أو « استخدام الأدوات المبرمج أوتوماتيا » ، وهى لغة خاصة بمكنات التحكم الرقمى numerical control . ويضاف إلى هذه القائمة أيضا لغة « هلب » HELP التى قدمتها شركة « جنرال إلكتريك » General Electric بتصريح من شركة « دى . إى . ايه » DEA الإيطالية .

تشتمل اللغات السابقة على تنوعات كبيرة من البنية اللغوية language structure والإمكانات . ومازالت هذه اللغات قيد التطوير حتى الآن . ويمكن بوجه عام ، انطلاقا من المفاهيم الأساسية لهذه اللغات تمييز جيلين من اللغات النصية الروبوتية نتناولهما بالتوضيح فيما يلى :

لغات الجيل الأول *First Generation Languages* :

تستخدم لغات الجيل الأول تركيبة مزدوجة من الأوامر النصية وخطوات تشغيل « علاقات التوجيه » فى بناء برامجها الروبوتية .

وقد ظهرت هذه اللغات لتلبى احتياجات نظم التحكم الحركى . ولذلك ، تسمى أحيانا لغات « المستوى الحركى » motion level languages . والسمة المميزة لها جميعا ، مقدرتها على تحديد حركات المناولات (تستخدم الأوامر لتحديد تتابع الحركات ، وتستخدم « علاقة التوجيه » لتحديد الموقع) ، وذلك بالإضافة إلى إمكانات التقريب الخطى والتفريع branching واستقبال أوامر المستشعرات البدائية التى تشتمل على إشارات ثنائية binary signals فى صورة « تشغيل وإيقاف » on-off .

ومن أمثلة الأوامر الشائعة فى لغات الجيل الأول أمر « تحرك » MOVE الذى يحدد تتابع الحركات ، وأمر « انتظر إشارة » WAIT, SIGNAL الذى يحدد إمكان استقبال إشارات داخلة أو خارجة ، وأمر « تفرع » BRANCH الذى يتيح كتابة « البرامج الفرعية » subroutines .

ويفضل عادة العاملون بخط الإنتاج إجراء البرمجة عن طريق « علاقة التوجيه » ، على حين يفضل من لهم دراية بالحواسيب استخدام اللغات النصية فى برمجة الروبوت . وعلى أى حال ، فإن السمة المميزة للغات الجيل الأول ، هى عدم مقدرتها على معالجة الحسابات الرياضياتية المعقدة أثناء تنفيذ البرنامج ، وكذلك عدم مقدرتها على التعامل مع المستشعرات المعقدة أو مع بياناتها . ويعيب هذه اللغات أيضا

مقدرتها المحدودة على الاتصال بالحواسيب الأخرى . وأخيرا ، يصعب تطوير هذه اللغات لاستيعاب المتغيرات الجديدة فى المجال الروبوتى .

لغات الجيل الثانى Second Generation Languages :

تمتاز لغات الجيل الثانى عن سابقاتها بتجاوز أغلب العيوب التى حدث من إمكانات لغات الجيل الأول ، بالإضافة إلى إدخالها بعض سمات « الذكاء » إلى روبوتاتها . كل ذلك مكن الروبوتات من القيام بمهام أكثر تعقيدا . وتوصف هذه اللغات بأنها لغات « تركيبية » structural languages لأنها تمتلك تركيبات ذات تحكم بنيوى .

وتعتبر لغات « إيه . إم . إل » AML ، و« ريل » RAIL ، و« إم . سى . إل » MCL و« فال - ٢ » VAL. II من لغات هذا الجيل . وتقترب البرمجة بهذه اللغات اقترابا كبيرا من البرمجة باللغات الحاسوبية المعروفة . وقد يعد ذلك عيبا فيها إذا نظر إليه من ناحية الاحتياج لمبرمجين ذوى مهارات حاسوبية عالية ، وهو ما يود أن يتجنبه منتجو الروبوتات . ويمكن تلخيص السمات المميزة للغات الجيل الثانى فيما يلى :

١ - إمكانات التحكم الحركى ، وهى تشترك فى ذلك مع لغات الجيل الأول .
٢ - إمكان التعامل مع مستشعرات من النوع المتقدم . إذ يمكنها معالجة أكثر من مجموعة من الإشارات الثنائية فى الوقت نفسه ، كما يمكنها التحكم فى النبائط devices بواسطة بيانات المستشعرات .
٣ - إمكانات الذكاء الاصطناعى المحدودة . ويشمل ذلك إمكان استخدام المعلومات المرتدة من البيئة المحيطة فى تحسين سلوك النظام بواسطة البرمجة .
٤ - إمكانات الاتصال ومعالجة البيانات . إذ تشتمل هذه اللغات على توابع تمكنها من التلاحم مع الحواسيب وقواعد البيانات الحاسوبية بهدف الاحتفاظ بالسجلات ، وعمل التقارير ، والتحكم فى النشاطات داخل الخلية الروبوتية .

أما من ناحية التحكم الحركى ، فرغم اشتراك روبوتات الجيل الثانى مع روبوتات الجيل الأول فى غالبية مزاياها فإن الجيل الثانى قد أضيفت إليه إمكانات حل بعض المسائل الهندسية الأكثر تعقيدا ، التى تتجاوز إلى حد كبير مجرد القيام بعمليات التقريب الخطى . فعلى سبيل المثال ، تشتمل لغة « إم . سى . إل » MCL ، المنبثقة عن لغة « إيه . بى . تى » APT الخاصة بمكنات التشغيل المؤتمتة ، على الكثير من التحديدات الهندسية مثل الخطوط والدوائر والمستويات والاسطوانات وما أشبه .

وأما إمكانات التعامل مع مستشعرات من النوع المتقدم فتتضمن استخدام الإشارات التناظرية بالإضافة إلى الإشارات الثنائية ، وتتضمن كذلك الاتصال مع النبائط المختلفة التى تتعامل بهذه الإشارات . ومن أمثلة ذلك ، التحكم فى القوابض . فعلى حين يقتصر التحكم فى روبوتات الجيل الأول على فتح وإغلاق القابض ، فإن الجيل الثانى يمكنه التحكم فى القوابض المزودة بمستشعرات على نحو يمكنها من قياس القوى . إذ يراقب المستشعر القوى أو الضغوط أثناء الإطباق على الهدف ، ويمكنه تنظيم قيمة الضغط المسلط عليه .

أما الخاصية الثالثة التى تتميز بها لغات الجيل الثانى ، وهى الذكاء الاصطناعى المحدود ، فتتضح من إمكان التعامل مع ظواهر غير منتظمة الحدوث أثناء دورة التشغيل ، وهو ما لا تستطيعه لغات الجيل الأول التى تقوم بتكرار الحركة نفسها مرات ومرات مع فروق بسيطة فى الحالات التى تتغير فيها هيئة المشغولة . ومن أمثلة ذلك ، ما يحدث فى تطبيقات اللحام بالقوس عندما يفاجأ الروبوت ببعض التعرجات غير الطبيعية فى سطح اللحام ، فيمكنه إعادة تهيئة وضع أداة اللحام بالنسبة للسطح . ومن غير الممكن القيام بذلك بدون لغات الجيل الثانى . أما لماذا نطلق على هذا السلوك « الذكى » صفة « المحدودية » ، فيرجع إلى أن أسلوب التصرف فى المشكلة قد جرت برمجته مسبقا واختزنه الروبوت فى وحدة التحكم لحين الحاجة . ولا يستطيع الروبوت تعديل برنامجه من تلقاء نفسه عندما يفاجأ بموقف جديد .

ولزيادة الإيضاح ، فلنتخيل فشل أجهزة التثبيت فى الإطباق بصورة مناسبة على المشغولة . فى هذه الحالة يقوم الروبوت « غير الذكى » بإيقاف كل الوحدات عن العمل . أما الروبوت « الذكى » فسوف يقوم بفتح أجهزة التثبيت ، ثم يمسك بالمشغولة ويخرجها ، ثم يعيد إدخالها فى جهاز التثبيت فى الوضع الصحيح ، وبعد ذلك يغلق القابض : وكل هذه الخطوات قد تمت برمجتها مسبقا باستخدام لغات الجيل الثانى .

ولغات الجيل الأول لا تمكن الروبوت من الاتصال مع الحواسيب الخارجية إلا فى أضيق الحدود . ولذلك ، تلجأ روبوتات هذا الجيل - عند « رغبتها » فى الاتصال مع وحدات التحكم الأخرى وما يشابهها من نبائط خارجية - إلى استخدام أمر « انتظر ، إشارة » WAIT, SIGNAL فى منافذ دخول وخروج الإشارات . أما لغات الجيل الثانى فيمكنها التعامل المباشر مع الحواسيب أثناء دورة التشغيل ، وتستفيد من ذلك فى الاحتفاظ بتسجيلات عن الإنتاج لكل نوع من المشغولات ، والحصول على تقارير منتظمة عن مؤشرات الأداء وما أشبه .

وتمتاز لغات الجيل الثانى ، بالإضافة إلى كل ما سبق ، بقدر كبير من المرونة المتمثلة فى مقدرتها على « التوسع » و« الامتداد » . إذ يستطيع مستخدم هذه اللغات تطويرها لتلبية احتياجاته المتجددة ، التى قد تكون تطبيقا جديدا ، أو نبائط استشعار حديثة ، أو حتى روبوتات جديدة . وقد يتطلب ذلك إضافة أوامر جديدة ، أو برامج فرعية ، مما لم يرد فى التعليمات الأولية لهذه اللغات .

الذكاء الاصطناعى Artificial Intelligence :

الذكاء الاصطناعى هو ميدان البحث فى المبادىء الأساسية للذكاء البشرى وإمكان محاكاته بطرق اصطناعية . وهو كذلك محاولة إيجاد آلات ميكانيكية أو الكترونية – أو حتى عضوية – قادرة على تقليد إمكانات الذكاء البشرى .

والمشتغلون فى ميدان الذكاء الاصطناعى هم فى واقع الأمر رواد العمل الروبوتى . ونعنى بذلك أنه فى حين أن الروبوتيات ذاتها هى اندماج للتقنيات العقلية والفيزيائية (الحواسيب والكهرميكانيكية) ، فإن الأشخاص الذين يبحثون فى طبيعة الذكاء على مستوى عقلى والذين ينشدون إبداع وسائل كهرميكانيكية يمكنها أن تؤدى وظائف ذكية هم رجال الذكاء الاصطناعى ، وهم القادة الحقيقيون للتطوير الروبوتى . ونتائج أعمالهم إنما تتأسس على الحواسيب والتقنيات الكهرميكانيكية .

وهذا المجال من النشاط الروبوتى يمكن أن يطلق عليه « الروبوتيات البحتة » ويزاوله عادة الأشخاص الذين يعملون فى أقسام البحوث والتطوير بالشركات والمؤسسات الكبيرة ، وفى الجامعات ذات التوجه التقنى .

وهناك أربعة ميادين عامة للبحوث الروبوتية فى مجال الذكاء الاصطناعى :

١ – التعرف على الأنماط Pattern recognition .
٢ – حل المشكلات Problem-solving
٣ – تمثيل المعلومات Information representation
٤ – تفسير اللغة الطبيعية Natural language interpretation

ومن الملاحظ أن البحوث والتجارب التى تواصلت طوال السنوات العشرين الماضية فى هذه المجالات ، وفى المجالات الأخرى المرتبطة بها ، تميزت بوجود توجهات مختلفة فى جوهرها للمشكلات المتضمنة .

وهناك توجهان متباعدان يمكن مشاهدتهما فى هذه الميادين البحثية . وكل توجه منهما يتأصل فى افتراض أو منظور أساسى معين حول موضوع البحث . فأحد

التوجهين يتميز بمحاولة اكتشاف سمات عامة معينة للتعرف على الأنماط ، أو حل المشكلات ، أو تمثيل المعلومات وتفسير اللغة الطبيعية ، على حين يتميز التوجه الآخر باستبعاد العموميات لصالح النوعيات .

ويمكن أن نسوق مثالا على ذلك فى حالة بحوث حل المشكلات . ففى منتصف الخمسينيات ، أعلن « هيربرت سيمون » Herbert Simon و « ألين نيويل » Allen Newell وآخرون أنهم اكتشفوا « آلة مفكرة » . وكانت أول مهمة استخدمت فيها هذه الآلة المفكرة (مجرد برنامج حاسوبى) هى مسألة إثبات النظريات المنطقية المتضمنة فى النظام المنطقى الذى كان يشكل أساس نظرية المعلومات ، والإلكترونيات ، وبرمجة الحواسيب (هذا المنطق هو الذى ضمنه « برتراند راسل » و« الفريد نورث هوايتهيد » فى كتابهما المشترك Principia Mathematica عام ١٩١١) .

وما إن تمكن « سيمون » و« نيويل » من إيضاح أن برنامجهما يستطيع البرهنة على نظريات منطقية - وهى مهمة محددة - حتى حاولا تعميم مقدرة البرنامج إلى ما أسمياه « برنامج حل المسائل العامة » . وكان قسم من عملية تطوير برنامج يستطيع حل مسائل عامة هو أن يطلب من الأفراد أن يكتبوا ما يفعلونه عندما يقومون بحل المسائل ، ثم يتم استخلاص الأنماط العامة المتضمنة وإدراجها فى برنامج . وكان الشعور السائد هو أن التمكن من اكتشاف النمط الذى يتوخاه البشر لحل المسائل ، سيؤدى إلى محاكاة الطرق والتقنيات على آلة (وفى برنامج) . ويمكن حينئذ استخدام آلة لحل المسائل العامة تكون بمثابة أداة عامة الأغراض ومتعددة المهام .

ومع أن برنامج حل المسائل العامة قد حقق بعض النجاح ، فإنه لم يتم قط تطوير برنامج عام لحل المسائل بصفة عامة . ولقد رفض بعض الباحثين ، ومن بينهم « جون مكارثى » John McCarthy ، منحى حل المسائل العامة ، وحاولوا أن يبرهنوا على أن التوجه لتطوير الذكاء الاصطناعى والآلات المفكرة يجب أن يكون فى نطاق ميادين محددة للمعرفة . ولقد أدى هذا التوجه البديل إلى تطوير ما يسمى حاليا مفهوم « المساعد الذكى » intelligent assistant لآلة مفكرة .

وعلى حين قام « سيمون » بتطوير فكرة حل المسائل العامة إلى برنامج سمى « باكون » BACON ، ويمكنه استخلاص قوانين وقواعد من بيانات الدخل ، فإن التوجه الذى أيده « مكارثى » وآخرون قد أدى إلى تطوير تنويعات من « المساعدين الأذكياء » . وتعرّف إحدى هذه التنويعات باسم « دندرال » Dendral ، وتستعمل

بمثابة مساعد للكيميائى فى تفسير بيانات راسم الطيف الكتلى mass spectrograph . وتنويعة أخرى هى « ماكسيما » Macsyma التى تؤدى وظيفة مساعد رياضياتى لمعالجة الدوال الجبرية . ولقد قام بتطوير هذه التنويعة الأخيرة « جويل موزيس » Joel Moses فى معهد « ماساشوستس » للتقنية . ولقد كان لمسلك « المساعد الذكى » تأثير على تطوير « مساعدين طبيين » ، أى برامج ذكية تستطيع أن تساعد الأطباء الممارسين على تشخيص الأمراض وما أشبه . وهذه الآلات لا تتضمن تقنيات لحل المسائل العامة ، ولكنها قادرة على تطبيق تنويعة من القواعد - مثل « إذا ... فإن ... » - على حالات طبية وحالات معينة أخرى .

وميدان آخر من ميادين البحث ، كان موضعا للخلاف والنزاع حول أفضل توجه ، هو التعرف على الأنماط ، كما فى بحوث الإبصار على سبيل المثال . ولقد استرشد تطوير أنظمة الإبصار بسؤال أساسى : كيف تترجم أشعة الضوء الساقطة على شبكية العين إلى صور ومفاهيم للأشياء المدركة ؟ وما هى العلاقة بين الإحساسات التى تترجم إلى صور وبين المفاهيم ؟ وكيف تتم هذه الترجمة ؟

وأحد التوجهات للإجابة عن هذه التساؤلات كان محاولة تخزين صور الأشياء المدركة فى ذاكرة حاسوب ، ثم جعل نظام الإبصار يقارن أى شىء تتم رؤيته مع عدد وافر من الصور المختزنة . والمشكلة هنا هى أنه حتى لو كان من المستطاع تخزين صورة لكل شىء يمكن رؤيته ، فإن مسألة مقارنة شىء مرئى مع عدد وافر من الصور المختزنة تستغرق وقتا طويلا . وكان مؤيدو توجه معارض يشعرون أن الطريقة الوحيدة التى يمكن بها تعليم آلة ما لتكون قادرة على أن « ترى » الأشياء وتتعرف عليها ، هى اكتشاف وتطوير رموز أو أنماط عامة تتميز بها الأشياء التى يمكن إدراكها ، مع السماح بوجود تفاوتات فى الأنماط . وفى هذا التوجه الأخير ، يمكن تخزين تنويعة صغيرة من الأنماط العامة فى الذاكرة ، مع تفاوتات مسموح بها ، ثم يمكن مقارنة شىء « مرئى » مع تنويعة صغيرة من الأنماط بدلا من مقارنته مع آلاف من الصور المعينة . وعلى ذلك ، ففى حالة التعرف على الأنماط ، وجد أن التوجه العام ، وليس التوجه المعين ، هو الأكثر فائدة فى تطوير آلة « مبصرة » .

وفى حالة التعرف على الكلام ، توجد حالة مماثلة من الأمور . فلو كانت جميع الكلمات التى يمكن أن ينطق بها متحدث واضحة ومميزة المعنى ، بلا ظلال من الغموض ، ولا سياق ، ولا تعابير عامية ، إلخ ، فإن أية كلمة ينطق بها أى متحدث يمكن أن تتعرف عليها وتفهمها الآلة بدون متاعب عديدة . ولكن الحال الواقعة ، هى أن كل لغة منطوقة إنما تتميز بتنويعة ضخمة من النبرات الصوتية ، والمعانى ، والغموض ، والقواعد النحوية .

وبالنسبة لمشكلات التعرف على الكلام ، فإننا نمر حاليا بمرحلة « التفوه المنفرد » discrete utterance .

وعلى سبيل المثال ، فإن الحاسوب الذى يجيب على الهاتف ويستجيب لاستفسارات المتحدث على الطرف الآخر ، هو آلة من هذا النوع . فالآلة تكون مبرمجة للتعرف على مصطلحات معينة وعلى مجموعة محدودة من المفردات . وكما هى الحال فى الإبصار ، فإن التوجه هنا هو تخزين مجموعة صغيرة من الكلمات ، مع تنويعة من القواعد اللغوية (النحوية والصرفية) ، وجعل الآلة تقارن ما يقوله المتحدث مع تلك المجموعة الصغيرة من الكلمات . وحتى مع ذلك ، فإن المقارنة تستغرق وقتا طويلا كما أنها بطيئة جدا .

والتوجه الذى يجرى العمل عليه حاليا هو الانتقال من التفوهات المنفردة إلى التفوهات العامة ، أى تطوير آلات يمكنها أن تستمع إلى التنويعة العامة من الكلام البشرى وتستطيع أن تتعرف على ما يقال . وحيث إنه من المستحيل تخزين كل كلمة منفردة يمكن التحدث بها ، مع كل تفاوت فى الكيفية التى يمكن بها نطق الكلمة الواحدة أو استعمالها فى جملة (بما فى ذلك التعبير الصريح والضمنى) ، لذلك فإن التوجه الجارى حاليا هو إلى محاولة تطوير آلة للتعرف على الكلام ضمن أطر أو « نصوص » معينة أو أنماط عامة .

وكان ولا يزال مجال الفضاء الميدان الرحب لوضع إنجازات الذكاء الاصطناعى موضع التطبيق . ورغم وجود مسافة زمنية بين ما يمكن تطبيقه فى برامج الفضاء وبين ما يمكن تسويقه تجاريا فى المجال الصناعى أو الخدمى ، فإن ما توافر لهذه البرامج من إمكانات فنية ومالية ، سوف يساعد بلا شك على التعجيل بتطوير التطبيقات الروبوتية التى تعتمد على نظم الذكاء الاصطناعى .

ولنأخذ مثالا على ذلك ، الروبوت الذى هبط على كوكب المريخ وأدى عددا من التجارب والوظائف . فبالإضافة إلى ما تمتع به هذا الروبوت من إمكانات حركية بالغة التعقيد تمثلت فى أرجله ذات المدادات التى تمكنه من التنسيق واجتياز العوائق ، فقد كانت لديه بالفعل المقدرة على التصرف الذاتى من حيث الهبوط فى بيئة معادية .

والبيونير - ١٠ (Pioneer-10) مثال آخر للروبوت الذكى ، وهو القمر الصناعى الذى أفلت من المجموعة الشمسية (عمدا) واتخذ سبيله إلى الفضاء الخارجى . وهو يحمل لوحة ابتكرها جزئيا « كارل ساجان » Carl Sagan وتصور بطريقة رمزية تشريح الكائن البشرى ، مع معلومات أخرى عن موقع الكوكب الذى جاء منه . وهذا القمر الصناعى روبوت « ذكى » من جهات عديدة ، حيث إنه يحمل

على متنه برامج (روتينات) تمكنه من البقاء « حيا » طوال رحلته الطويلة فى الفضاء . ومع زيادة تطوير القدرات الذكية التى تزود بها مثل تلك الآلات ، يمكننا أن نتوقع عددا أكبر من هذه المسبارات المرسلة إلى الفضاء لاستكشاف وتعيين المواقع التى يمكن أن يستغلها البشر ليس فقط فى الحصول على المعلومات وعلى منافع اقتصادية ، وإنما أيضا فى تطوير صناعة الروبوتات للأجيال القادمة .

العقل الروبوتى [الحاسوب] Robotic brain :

الحاسوب هو الإطار المادى الذى تتفاعل داخله البرامج ومنظومات الذكاء الاصطناعى مع البيانات الواردة من المستشعرات لينتج عن ذلك كله سيل من الأوامر والنواهى التى تتحكم فى كل حركة من حركات الروبوت . ولم يكن من الممكن بدون تطور الحواسيب ظهور الروبوتات التى نعرفها اليوم والتى سوف نعرفها أكثر فى المستقبل .

ومع أن الحواسيب قد أتقنت عمليات عقلية متقدمة ، مثل لعبة الشطرنج وحساب التفاضل والتكامل ، فإنه مازال أمامها - بعد - أن تحقق المهارات التى يستخدمها ، على أكثر تقدير ، شخص أخرق فى التعامل مع مشكلات العالم الواقعية . وحتى هذا الأمل محكوم عليه بالفشل من وجهة نظر الكثيرين مالم يحقق الذكاء الاصطناعى الطفرات المنتظرة منه .

لقد مرت الحواسيب برحلة طويلة نسبيا من التطور منذ عام ١٩٢٧ وحتى عام ١٩٧٦ - عام الحواسيب الدقيقة micro computers التى أعطت إمكانات هائلة لتطوير التقنيات الروبوتية .

ويمكن فيما يلى تلخيص أهم العتبات التى خطت عليها الحواسيب فى سلسلة تطويرها .

١٩٢٧ - أول حاسوب إلكترونى ناجح (تناظرى) من ابتكار « بوش » .
١٩٣٨ - أبحاث « شانون » عن استعمال المنطق الرمزى على الدارات (الدوائر) الإلكترونية .
١٩٣٩ - شركة IBM تبدأ فى تصنيع حاسوب .
١٩٤٤ - حاسوب « هوادر أيكن » Mark -1 .
١٩٤٦ - ENIAC ، أول حاسوب رقمى باستعمال الأنابيب (الصمامات) الإلكترونية بدلا من المرحلات الإلكترونية (كما فى حاسوب بوش) .
١٩٤٨ - مولد علم « السيبرنيات » Cybernetics .

١٩٤٩ – « شانون » يطور نظرية المعلومات .
١٩٥٠ – الحاسوب EDVAC يحقق مفهوم « البرنامج المخزون » .
١٩٥١ – UNIVAC ، أول حاسوب مع برنامج مخزون يتاح تجاريا .
١٩٥٢ – تسويق حاسوب IBM طراز 701 .
١٩٥٤ – شركة IBM تسوق الطرازين 704 و705 مع 4 K ذاكرة داخلية . (لاحظ أن الذاكرة الداخلية لحواسيب الجيب الشائعة حاليا لا تقل سعاتها عن 64 K) .
١٩٥٦ – شركة IBM تخترع لغة البرمجة « فورتران » Fortran للمساعدة على تسويق الطراز 701 .
١٩٥٨ – استعمال الترانزستورات بدلا من الأنابيب (الصمامات الإلكترونية) ، وتسويق حاسوبى IBM من الطرازين 7090 و 7070 لمعالجة البيانات التجارية .
١٩٦٤ – استعمال تقنية « الرقاقات » chips بدلا من تقنية الترانزستورات . شركة IBM تسوق الحاسوب طراز 360 ، وهو الآلة التى بوأت الشركة مكانتها الفذة فى عالم الحواسيب .
١٩٧٦ – تجميع وتصنيع الحواسيب الدقيقة microcomputers الأولى .

إن ثورة الحواسيب ، وبالأخص ثورة الحواسيب الدقيقة التى تحققت بفضل رقاقات السليكون ، جعلت الروبوتات أمرا ممكنا ، وحيث إن الرقاقات تغنى عن ضخامة العقل الميكانيكى ، فإن مثل هذه العقول يمكن تركيبها فى أجهزة صغيرة نسبيا .

الحاسوب « آبل – ٢ » Apple-11 على سبيل المثال ، كانت لديه فى عام ١٩٧٨ قدرة مودعة فى صندوق صغير تكافىء طابقا بأكمله فى مبنى كان يضم الحواسيب المبكرة المزودة بأنابيب إلكترونية . إن شعار صناعة الحواسيب هو « اجعل الأقل حجماًيفعل أكثر » ، حيث إن أسعار أجهزة الحواسيب قد هبطت هبوطا حادا . وقدرة الحواسيب قد أصبحت الآن آلاف المرات أكبر مما كانت عليه عند بدء استخدامها . مما اعتاد البعض أن يسميه ظاهرة « صنع الأفضل والأرخص بجعله أصغر حجما » .

وهذه الظاهرة تمضى قدما فى ثلاثة اتجاهات . فعلى المدى القريب ، يجرى العمل على رقاقات يمكنها أن تحتوى على عدد متزايد من الترانزستورات على صفيحة من السّليكون لا تزيد مساحتها على ظفر الأصبع . وكلما زاد عدد

الترانزستورات التى يمكن أن تتوافق على رقاقة ، تعاظمت قدرة الرقاقة . وهنا أيضا نجد أن اليابانيين قد تقدموا على الولايات المتحدة فى تطوير الجيل الخامس من الحواسيب الفائقة . والروبوتات لازمة لصنع الرقاقات لهذه الحواسيب ، وهذا هو أحد الأسباب فى تقدم اليابان على الولايات المتحدة فى مجال الروبوتات .

وهناك ميدان آخر لتطوير الرقاقات ، هو ميدان على المستوى الذرى . فحيث إن الكهرباء تتحرك بسرعة الضوء ، فإن سرعة الحواسيب مرتبطة بالمسافة التى يلزم لإشارة إلكترونية أن تتحركها بعمل خطوة حسابية . والرقاقة التى يمكنها أن تعالج خطوات حسابية مختلفة فى الوقت نفسه وفى « نانو ثوان » (النانو ثانية تساوى جزءا من بليون من الثانية ، أى ١٠-٩ ثانية) هى رقاقة تتميز بجعل المسافة التى تتحركها الكهرباء أصغر وأصغر .

وأقصر مسافة يلزم أن تتحركها الكهرباء ، والمكان الذى لا تحدث فيه معاوقة لمرور الكهرباء بواسطة المادة التى تتحرك خلالها ، إنما يوجدان فقط فى داخل ذرة المادة . وإذا أمكن بناء رقاقات فى داخل الذرات ، فإن الخطوات الحسابية يمكن أن تجرى عمليا بسرعة الضوء ، وبالتالى فسيكون من الممكن عمل عدد أكبر بكثير من الخطوات الحسابية « لحظيا » . وإذا أمكننا الوصول إلى هذا المستوى ، فسيكون لدينا فى الواقع رقاقات لها قدرات حسابية أعظم مما للعقل البشرى ، ويمكن شرح ذلك كما يلى :

يوجد فى الدماغ البشرى نحو ١٠١١ نيوترون ، مع ١٠٠ « دندريت » (وصلة) لكل منها . وكل وصلة تشبه « البايت » byte ، أو الرمز ، أو معلومة يمكن معرفتها أو استعمالها . وعلى ذلك فإن دماغ الإنسان قادر على عمل ١٠١٤ من « بتات » (وحدات) المعلومات . ورغم أن هذا الرقم ضخم إلى حد مذهل ، فإنه ليس سوى كسر صغير (١ / ١٠) من عدد الذرات فى حبيبة ملح . والرقاقات المؤسسة على بنيات ذرية لن تكون فقط أعلى سرعة وأكثر قدرة من أى شىء موجود لدينا حاليا فى رقاقات السليكون ، بل وستكون كذلك أصغر بكثير ، بحيث إنه ليس من المبالغة القول بأن حاسوبا ذريا فى حجم علبة من السجائر يمكن أن يحتوى على قدرة حاسبة تعادل ما تحتويه كافة الحواسيب الحالية فى جميع أرجاء العالم .

والتوجه الثالث للإسراع بالخطوات الحسابية ينحو إلى تطوير رقاقات عضوية . والرقاقات العضوية يمكن برمجتها « بشفرة وراثية » genetic code تستطيع تطوير رقاقات بالغة التعقيد ، وهى جميعا تعمل طبقا للمبادىء المستعملة فى الدماغ ، الذى يُعتبر أقدر حاسوب لدينا .

ولا شك أن صنع روبوت فى حجم ملعب لكرة القدم لن يستحق مشقة الحصول عليه ، ولكن إذا أمكن صنع روبوت فى حجم الإنسان فإن ذلك سيكون مستحسنا ومطلوبا . وقد جعلت الرقاقات من ذلك أمرا ممكنا . إذ يرجع الفضل إلى الرقاقات فى إمكان إدخال كثير من القدرات المطلوبة للذكاء الاصطناعى (مثل الإحساس ، والذاكرة ، والقدرة على الالتزام بالقواعد) ، فى حيزات تكافىء من حيث الحجم الحيزات بالمقياس البشرى ، بل وقد تكون أصغر منها . ويمكن للروبوتات الشخصية أن تستوعب « عقلها » (حاسوبها) ومستشعراتها فى حيز لا يزيد حجمه على رأس الإنسان . وقد كانت الخطوة الأولى إلى الحصول على روبوت حقيقى هى تخزين حاسوب فى داخله . ومع ذلك ، فإن أنواع البرامج التى تتطلبها روبوتات كاملة القدرة قد لا تكون هى النوع الموجود لدينا حاليا .

والرقاقات غير العضوية مازالت غير صغيرة ، كما أنها ليست ذات قدرة تكفى لمتطلبات الروبوتات القوية حقا . ومن الناحية الأخرى ، فإن الرقاقات العضوية هى خلايا حية مع برامج مدمجة فيها مما يجعلها أسرع بكثير من رقاقات « السليكون » ، كما أنها أكثر منها تعقيدا وأعلى قدرة . وعندما يمكن محاكاة الدماغ ، فإن الروبوتات فائقة القدرة سوف تصبح واقعا ملموسا . وسوف يحتاج الأمر كذلك إلى مجهودات كبيرة لمحاكاة الجهاز العصبى فى المختبر ، هذا بالإضافة إلى ضرورة صنع أجهزة الإحساس والعضلات اصطناعيا .

إن ما نحتاج إلى معرفته لتطوير المقدرة الحاسوبية للروبوت هو : كيف يحقق الدماغ الإدراك ؟

إن الهندسة العكسية reverse engineering هى إحدى الممارسات الشائعة فى الصناعة . فعندما تصل تقنية جديدة إلى الأسواق ، يكتشف المنافسون طريقة عملها بتفكيكها والتعرف على بنيتها المنطقية . أما فى حالة الدماغ ، فإن هذه الاستراتيجية تشكل تحديا بالغ الصعوبة ، ذلك أن الدماغ هو أكثر الأشياء تعقيدا وتطويرا على وجه الأرض . ومع ذلك ، فقد كشفت علوم الأعصاب عن الكثير حول الدماغ على مستويات بنيوية متنوعة ، وهناك ثلاث نقاط تشريحية تناقض بصورة أساسية ، المعمارية التى تتبناها الحواسيب الإلكترونية التقليدية :

١ – إن المنظومات العصبية آلات موازية (أو تفريعية) Parallel machines بمعنى أن الإشارات تعالج فيها عبر الملايين من المسالك المختلفة فى وقت واحد . فعلى سبيل المثال ، لا تبعث شبكية العين مدخلاتها المعقدة إلى الدماغ فى « رزم » مؤلفة من ٨ أو ١٦ أو ٣٢ عنصرا ، كما هى الحال فى الحاسوب

الشخصى ، وإنما على صورة مليون من عناصر الإشارة المميزة التى تصل فى آن واحد إلى هدف العصب البصرى ، أى إلى « النواة الركبية الجانبية » lateral genicular nucleus ، وتتم معالجتها هناك إجماليا ودفعة واحدة .

٢ - إن وحدة المعالجة الأساسية فى الدماغ ، أى العصبون ، بسيطة نسبيا . كما أن استجاباتها للإشارات الواردة هى ذات طبيعة تناظرية (تماثلية) analog وليست رقمية ، وتتحدد بمقدار التغير فى تواتر خرجها النبضى باستمرار مع الإشارات التى تشكل دَخْلها .

٣ - إن الألياف (المحوارات) العصبية axons التى تنبثق فى الدماغ من « تجمع عصبى » neuronal population ممتدة إلى تجمع آخر ، غالبا ما يقابلها ألياف عصبية عائدة من التجمع المستهدف target population . وهذه الإسقاطات النازلة أو التكرارية تسمح للدماغ بتعديل طبيعة معالجة الإشارات الحسية . ومن الأمور التى تفوق ما سبق من حيث الأهمية أن وجود هذه الإسقاطات يجعل من الدماغ « نظاما ديناميا » dynamical system حقيقيا ، حيث إن سلوكه الاستمرارى هو فى آن واحد بالغ التعقيد وإلى حد ما مستقل عن المنبهات المحيطة .

وقد أمكن الكشف عن الخواص الحاسوبية للدماغ البشرى عن طريق عمل نماذج شبكية مبسطة يمكن بها بيان الكيفية التى تعمل وفقا لها الشبكات العصبية الحقيقية . ومع أن هذه الشبكات النموذجية تبالغ فى تبسيط تركيب الدماغ ، فإنها توضح العديد من الأفكار المهمة . فهى توضح الحقائق الثلاث الآتية :

١ - إن معمارية موازية (تفرعية) parallel architecture تحقق تفوقا كبيرا فى سرعة الحساب على الحواسيب التقليدية . وذلك أن المشابك المتعددة فى كل مستوى تنجز حسابات متعددة فى آن واحد بدلا من إنجازها فى تتال مجهد . وتصبح هذه الميزة أكثر وضوحا كلما ازداد عدد « العصبونات » فى كل طبقة . ومن المثير للدهشة أن سرعة المعالجة processing مستقلة تماما - على حد سواء - عن الوحدات المعنية بعملية الحساب فى كل طبقة وعن درجة تعقيد الدالة التى تقوم هذه الوحدات بحسابها . فيمكن أن تحتوى كل طبقة على أربع وحدات أو مائة مليون وحدة . ويمكن أن تقوم تشكيلة المشابك التى تتضمنها بإجراء عملية جمع بسيطة لأعداد ذات رقم واحد أو بحل معادلات تفاضلية من المرتبة الثانية . ولن يكون هنالك فارق ، فالوقت اللازم للحساب سيكون ذاته تماما فى الحالتين .

٢ - إن الموازاة (التفرعية) الجسيمة massive parallelism تعنى أن النظام متساهل

تجاه الأخطاء ومثابر من الوجهة الوظيفية . كما أن لنقص بعض التوصيلات ، حتى وإن كبر ، تأثيرا قابلا للإهمال فى طبيعة التحويل الإجمالى الذى يقوم به ما تبقى من الشبكة .

٣ - إن النظام الموازى (التفرعى) يخزن مقادير كبيرة من المعلومات على نحو توزعى ، بحيث يمكن التوصل إلى جانب منها خلال أجزاء من الملى ثانية millisecond ، ثم إن هذه المعلومات يجرى تخزينها فى تشكيلة شدات وصلات المشابك التى يتم التوصل إليها بفضل التعلم المسبق . وتحرر المعلومات المعنية أثناء مرور متجه الدخل الذى يتم تحويله أيضا وبواسطة تلك التشكيلة من الوصلات .

وتشكل الحقائق السابقة أملا واعدا فى مجال تطوير الدماغ الروبوتى على نحو يمكن معه أن يجابه المتطلبات المتزايدة للتطبيقات الروبوتية المتعددة ، والتى تتمثل بصورة أساسية فى زيادة سرعة الاستجابة والذكاء النسبى عند التعرض للمتغيرات البيئية .

الفصل الثالث

التطبيقات الروبوتية المعاصرة

تستخدم الروبوتات حاليا فى العديد من المجالات الصناعية والخدمية بدرجات متفاوتة . وتتقدم الروبوتات الصناعية على غيرها من الروبوتات تقدما كبيرا من ناحية الكم وتنوع المجالات . وقد تم حصر نحو ٧٠ مجالا صناعيا تستخدم فيها الروبوتات على النطاق التجارى ، على حين مازالت الروبوتات الشخصية تتحسس طريقها إلى الأسواق . ويرجع هذا فى المقام الأول إلى صعوبة المهام الملقاة على عاتق الروبوتات الشخصية مقارنة بإمكاناتها التى مازالت محدودة .

وسوف نتعرض فى هذا الفصل لبعض التطبيقات الروبوتية فى المجالين الصناعى والخدمى ، ونظرا لصعوبة تغطية كافة التطبيقات الصناعية فسوف نبدأ بسرد لا يتجاوز المسميات للتطبيقات الصناعية المعروفة ، يلى ذلك عرض مفصل لبعض هذه التطبيقات . وقد آثرنا استخدام الروبوتات فى أعمال اللحام بأكبر قدر ممكن من التفصيل ، لأسباب تتعلق بالتحديات التقنية الكبيرة التى يمثلها هذا المجال أمام منتجى الروبوتات ، بالإضافة إلى الدور الريادى المبكر لروبوتات اللحام فى الصناعة .

التطبيقات الصناعية :

أورد « ريتشارد ك . ميللر » Richard K. Miller فى مرجعه Industrial Robot Handbook نحو ٧٠ استخداما ناجحا للروبوتات فى الصناعة . ويبين جدول (٣ – ١) سردا للصناعات والمجالات التى تستخدم فيها الروبوتات حاليا على المستوى التجارى .

جدول (٣ – ١) الاستخدامات الصناعية الروبوتية المعاصرة

م	الصناعة / العملية	مجال الاستخدام
١	السيارات	عمليات اللحام وتحميل المكنات والطلاء ونقل المكونات .
٢	الطائرات	عمليات التجميع والتفتيش .
٣	تشكيل المواد بالقطع	تحميل وتفريغ مكنات التشكيل ، والقيام بأعمال الثقب وتسوية الأسطح وتنعيم الثقوب باستخدام الأدوات .

م	الصناعة / العملية	مجال الاستخدام
٤	التشكيل بالكبس	تحميل وتفريغ المكابس ، بنقل المواد فيما بينها .
٥	اللحام البقعى	عمليات اللحام البقعى على خطوط التشغيل .
٦	اللحام بالقوس الكهربى (اللحام القوسى)	عمليات اللحام القوسى الخاصة بتجميع المشغولات .
٧	المطروقات	نقل المواد وتحميل وتفريغ مكنات التشكيل بالطرق .
٨	الطلاء بالرش	عمليات الطلاء بالرش على خطوط الإنتاج المتحركة .
٩	تجليخ وتنظيف المسبوكات	عمليات إزالة الزوائد والقشور وعمليات تنظيف الأسطح باستخدام الأدوات .
١٠	المعالجة الحرارية	شحن وتفريغ أفران المعالجة الحرارية .
١١	الصقل والتلميع	شحن وتفريغ المكنات والقيام بعمليات الصقل والتلميع باستخدام الأدوات .
١٢	الأسلاك والكابلات	تداول بكرات الأسلاك وعمليات جدل الأسلاك والكابلات .
١٣	تداول المواد	عمليات التقاط ووضع المشغولات ونقلها فى مختلف التطبيقات الصناعية .
١٤	التعبئة	التقاط المنتجات النهائية ووضعها فى الصناديق أو تغليفها ثم شحن الحاويات .
١٥	اللصق والدهان	عمليات التغرية ومنع التسرب ولصق أجزاء المنتجات وتكسيتها بالمواد الواقية .
١٦	القطع بالتيارات المائية	قطع المواد باستخدام نفاثات المياه فائقة السرعة والمخلوطة ببعض المواد الحاكة .
١٧	التشغيل بالليزر	عمليات المعالجة السطحية والتجميع والتشكيل والثقب وتنظيف الأسطح واللحام ، وكذلك عمليات نقل المواد وشحن وتفريغ مكنات التشغيل بالليزر .
١٨	الغسل والتنظيف	القيام بعمليات غسل وتنظيف أجزاء المكنات باستخدام المنظفات الكيميائية الخطيرة .

م	الصناعة / العملية	مجال الاستخدام
١٩	التفتيش	استخدام مختلف أجهزة الفحص فى التفتيش على المنتجات قبل شحنها للعميل وكذلك بين عمليات التشغيل المختلفة .
٢٠	الإلكترونيات	عمليات تجميع الأجهزة الإلكترونية .
٢١	الحواسيب وأشباه الموصلات	عمليات تجميع الأقراص المرنة ، وتصنيع الرقائق فى الغرف المعزولة فائقة النظافة ، ولحام الترانزستورات ، وتشكيل وتجميع لوحات الحواسيب والطابعات .
٢٢	الخلايا الشمسية	عمليات تجميع ولحام المجمعات الشمسية والخلايا الفوتوفلطية .
٢٣	محركات الديزل	عمليات تجميع رؤوس الاسطوانات ومضخات الوقود والصمامات .
٢٤	المكانس الكهربية	عمليات التجميع ونقل المنتجات .
٢٥	أجهزة الإنذار من الحريق	عمليات تجميع وتعبئة .
٢٦	التليفونات	عمليات تجميع وتعبئة .
٢٧	البلاستيك	عمليات تفريغ مكنات الحقن ، وتداول المنتجات البلاستيكية الساخنة واللدنة ، وتشغيل قطع البلاستيك بالثقب والتسوية وإزالة الزائد ، وأعمال الطلاء بالكيماويات والراتينجات واللصق .
٢٨	التشكيل بالسباكة	تفريغ المكنات وإزالة زوائد السباكة والتغطيس فى أحواض التقسية والقيام بعمليات السباكة فى القوالب الدائمة والسباكة بطريقة الشمع المفقود ، وعمليات إعداد القوالب فى السباكة الرملية .
٢٩	القطع باللهب	قطع وتسوية الأسطح باستخدام أدوات القطع باللهب .
٣٠	إنتاج الصلب	تفريغ أفران القوس الكهربى وتداول بواتق الصلب المصهور والقيام بعمليات الصب المختلفة .
٣١	منتجات الألبان	التعبئة والشحن .
٣٢	المخبوزات والحلوى	التعبئة والشحن وعمليات تقطيع ونقش الحلوى والشكولاته .

م	الصناعة / العملية	مجال الاستخدام
٣٣	المنسوجات	تداول بالات المنسوجات وشحن وتفريغ المكنات والقيام بأعمال التفتيش والنقل .
٣٤	الطوب	عمليات التداول والشحن .
٣٥	الزجاج	عمليات التداول والنقل والتعبئة وشحن وتفريغ مكنات تشكيل الزجاج وأفران المعالجة الحرارية .
٣٦	الأخشاب والأثاث	عمليات التداول والقطع والتشغيل ، وعمليات الطلاء بالرش وتشطيب وصقل الأسطح فى صناعة الأثاث .
٣٧	الطباعة والتجليد	عمليات التجميع والتداول والنقل .

استخدام الروبوتات الصناعية فى أعمال اللحام :

تأتى أعمال اللحام فى مقدمة المجالات التى استخدمت فيها الروبوتات الصناعية بنجاح كبير منذ بداية التسعينيات . وقد استخدمت الروبوتات على نطاق واسع فى البداية فى عمليات اللحام البقعى spot welding ، التى تتم فى خطوط التجميع الخاصة بصناعة السيارات والشاحنات الثقيلة . وقد تلا ذلك استخدامها فى عمليات اللحام بالقوس الكهربائية ، حيث ينتظر تعاظم دور الروبوتات فى هذا المجال أثناء السنوات القادمة .

ولعل من الأسباب الرئيسية لاستخدام الروبوتات فى أعمال اللحام ما تنطوى عليه هذه الأعمال من خطورة على العامل البشرى ، وما يصاحب ذلك من تعقيدات فى إجراءات الأمن الصناعى وضرورة التزام العامل بارتداء وسائل الحماية . ويضاف إلى ذلك ، ما قد تقتضيه أعمال اللحام البقعى ، على سبيل المثال ، من ضرورة حمل معدات اللحام الثقيلة التى يشق استخدامها على العمال . وأخيرا وليس آخرا ، ما يحتاجه اللحام البقعى واللحام بالقوس الكهربائية من تجانس وجودة يصعب على العامل البشرى تحقيقهما ، خاصة فى حالات الإنتاج الكمى .

وقد جاء فى إحصائيات « جمعية الصناعات الروبوتية » Robot Industries Association بالولايات المتحدة الأمريكية أن عدد الروبوتات المستخدمة فى أعمال اللحام البقعى قد بلغ ١٥٠٠ روبوت فى عام ١٩٨١ ، بما يمثل ٣٦٪ من إجمالى

الروبوتات الصناعية فى ذلك الحين . ولا يكاد يوجد أى مصنع كبير لإنتاج السيارات والشاحنات فى الدول المتقدمة إلا ويستخدم الروبوتات الخاصة باللحام البقعى فى خطوط إنتاجه . وقد بدأت هذه النسبة فى التناقص بعض الشيء نظرا لظهور استخدامات جديدة للروبوتات ، إلا أن العدد الإجمالى للروبوتات المستخدمة فى اللحام البقعى لايزال فى تزايد مستمر .

أما بالنسبة للحام بالقوس الكهربائية electric-arc welding ، فقد تأخر استخدام الروبوتات فيه عن اللحام البقعى . وقد بدأ ظهور أول نظام روبوتى للحام بالقوس فى سنة ١٩٧٥ ، وقد كان خاصا باللحام الدرزى المستمر باستخدام المعدن والغاز الخامل continuous- seam MIG (Metal Inert Gas) . إلا أن استخدام الروبوتات فى اللحام بالقوس يتزايد الآن باطراد ، ويتوقع له الوصول إلى نسبة ١٥٪ من إجمالى المبيعات الروبوتية فى الولايات المتحدة الأمريكية ، بما يتجاوز النسبة الحالية لاستخدام الروبوتات فى اللحام البقعى . ويرجع ذلك إلى ما يحققه استخدام الروبوتات من إطالة فترة اشتعال القوس ، وتجنيب تشغيل العمال فى الأماكن الخطيرة والمغلقة مثل قيعان السفن وما أشبه ، وعدم الحاجة إلى معدات وإجراءات الحماية .

وسوف نتعرض فيما يلى لأهم الخصائص المميزة لاستخدام الروبوتات فى كل من اللحام البقعى ولحام القوس ، كما نستعرض أهم النظم الروبوتية المتاحة تجاريا فى هذا المجال .

اللحام البقعى SPOT WELDING :

يجرى فى عملية اللحام البقعى وصل الألواح المعدنية بعضها ببعض بواسطة الصهر الموضعى فى نقاط (بقع) اللحام ، وذلك بإمرار تيار كهربى عال خلال هذه النقاط . ويصاحب ذلك تسليط ضغط فى مواضع اللحام بإلكترودين من النحاس (أو من سبائك النحاس) يؤثر عليهما جهد كهربى منخفض لإحداث التلاحم المطلوب . ويؤدى مرور التيار الكهربى إلى تولد كمية كافية من الحرارة فى مواضع التلامس بحيث يندمج المعدن المصهور فى كلا اللوحين مكونا اتصالا متجانسا بينهما .

ويصنع الإلكترودان عادة على شكل فكى كلابة مفتوحين ، ويسلطان بمحاذاة موضع اللحام . ويتطلب الأمر تجميع اللوحين معا وتثبيتهما بعضهما فوق بعض بواسطة ماسكات مؤقتة تمهيدا لإجراء عملية اللحام . يجرى بعد ذلك ضم الإلكترودين إلى بعضهما بحيث يحصر بينهما اللوحان المراد لحامهما معا ، وذلك مع التأثير بقوة ضغط مناسبة وإمرار التيار الكهربى لإحداث التأثير الحرارى

المطلوب ، ويباعد بين الإلكترودين بعد ذلك ويتركان ليبردا استعدادا للحام التالى . وقد يعجل التبريد بإمرار المياه تحت ضغط مناسب خلال الإلكترودين .

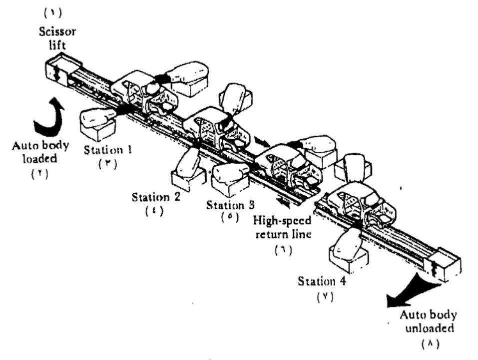
وتتوقف الإنتاجية فى حالة اللحام البقعى على الوقت المستنفد فى ضبط وضع الألواح والإلكترودات بالنسبة لبعضها البعض أكثر مما تتوقف على وقت إمرار التيار الكهربى عبر الوصلة . كما تتأثر الإنتاجية أيضا بما يحدث للإلكترودات من تآكل ونحر بالإضافة إلى ترسب الكربون على أطرافها بفعل التلامس مع المعدن المصهور ، مما يفقد الإلكترودات بعضا من قدرتها على التوصيل الكهربائى . ويتطلب الأمر تنظيف الإلكترودات لإزالة الرواسب بشكل دورى وللاحتفاظ بشكل الأطراف دون تشوه .

والشائع فى اللحام البقعى التقليدى إجراؤه يدويا بأحد طريقين . الطريق الأول ؛ وفيه تستخدم مكنة لحام ذات إلكترودين ثابتين حيث يقوم العامل بإدخال قطعتى اللحام بينهما . ويصلح هذا الأسلوب فى حالة المشغولات الخفيفة سهلة الحمل والتداول . والطريق الثانى ؛ يتم بواسطة مدفعة لحام welding gun محمولة يقوم العامل بتوجيهها إلى موضع اللحام ، ويستخدم هذا الأسلوب فى حالة لحام المشغولات الثقيلة وصعبة التداول ، مثل أجزاء السيارات والشاحنات . ورغم ذلك ، ففى أحيان كثيرة يصعب على العامل حمل مدفعة اللحام حيث تتصل بها كبلات كهربائية ثقيلة ، ولذلك يستعان بروافع كهربائية علوية overhead hoists فى تحريك معدات اللحام التى قد يتجاوز وزنها ٥٠ كيلو جراما .

وحتى فى هذه الحالة ، يكون من الصعب على العامل تحقيق إنتاجية مرتفعة فى خطوط الإنتاج الكمى ، ناهيك عن صعوبة تحقيق التماثل والتجانس فى عملية اللحام ذاتها .

استخدام الروبوتات فى اللحام البقعى : يجب أن يتميز الروبوت المستخدم فى اللحام البقعى spot welding بالدقة accuracy والتكرارية repeatability (يقصد بها إمكان تكرار العملية بتطابق تام من حيث الموضع والجودة) . وينبغى كذلك تزويد الروبوت بذاكرة حاسوبية ذات سعة مناسبة لاستيعاب وتخزين البرامج الخاصة بخطوات اللحام المختلفة . كما يجب تصميم الروبوت على نحو يمكن أطرافه من حمل معدات اللحام الثقيلة نسبيا ، وأن تكون له القدرة على التحكم فى مدخلات ومخرجات دوائره الإلكترونية بحيث تتوافق مع متغيرات وحدة التحكم فى خط اللحام . وأخيرا ، ينبغى تمتع الروبوت بدرجات الطلاقة اللازمة لوصول أطرافه إلى كافة مواضع اللحام المطلوبة .

ويبين الشكل التالى نموذجا نمطيا لاستخدام الروبوت فى تطبيقات اللحام البقعى فى خطوط الإنتاج المستمرة . فى هذا النموذج ، تمر أجسام السيارات أمام وحدة اللحام ، ويوجد عادة فى كل وحدة اثنان من الروبوتات أحدهما خاص بلحامات الجانب الأيمن من الخط والآخر خاص بلحامات الجانب الأيسر لجسم السيارة .



شكل (٣ - ١) استخدام الروبوتات فى اللحام البقعى للسيارات

(١) مصعد إطباق ، (٢) تحميل جسم السيارة ، (٣) محطة رقم ١ ، (٤) محطة رقم ٢ ، (٥) محطة رقم ٣ ، (٦) خط رجوع عالى السرعة ، (٧) محطة رقم ٤ ، (٨) إنزال جسم السيارة .

وتختص كل وحدة بمجموعة من عمليات اللحام . وبعد إنجازها تتحرك السيارة إلى الوحدة التالية ، وهكذا .

وبالنظر إلى الشكل ، يمكنك ملاحظة تقارب الروبوتات بعضها من بعض على طول خط الإنتاج ، وهذا يعنى إمكان حدوث تداخل فى مناطق العمل ما لم تتخذ إجراءات التحكم اللازمة . ولذلك تزود وحدات التحكم الروبوتية بمستشعرات يمكنها تحسس وجود أى جسم فى نطاق عملها المرتقب ، وتسمى الإشارات الصادرة عن هذه المستشعرات « إشارات التداخل » interference signals . ويكون لكل روبوت نطاقا تداخل أحدهما أيمن والآخر أيسر . فعلى سبيل المثال ، يكون نطاق التداخل

الأيمن لوحدة اللحام رقم ٢ هو ذاته نطاق التداخل الأيسر لروبوت الوحدة رقم ٣ . وعلى ذلك ، ينبغى للروبوت رقم ٢ إخلاء موقعه قبل اتجاه الروبوت رقم ٣ للعمل فى الموقع نفسه .

وتتميز الروبوتات من هذا النوع بوحدات تحكم غاية فى الارتقاء والحساسية ، ويمكن بواسطتها إفادة المشرف على الخط عن عدد عمليات اللحام التى أنجزت فى كل فترة عمل . ويمكنها كذلك تخزين كم كبير من البرامج الخاصة بكل طراز من السيارات التى تمر على الخط ، على نحو يمكن المشرف على الخط من تغيير خطوات اللحام وأوضاعه عندما يتغير طراز السيارة ، دون تدخل مباشر منه . فعلى سبيل المثال ، عندما تقف السيارة فى محطة الانتظار السابقة لوحدة اللحام رقم ١ ، تجرى قراءة الشفرة الخاصة بطراز السيارة ، والموجودة فى موضع محدد بها ، أوتوماتيا بواسطة قارىء الشفرة بوحدة التحكم حيث تنقل الإشارة لحظيا إلى جميع الوحدات الروبوتية على الخط ، فتقوم الروبوتات باستدعاء البرامج الجديدة من وحدات التحكم الخاصة بها وتتهيأ للعمليات الجديدة قبل وصول أول سيارة إلى وحدة اللحام رقم ١ .

ولا يقتصر دور وحدات التحكم فى هذا النوع من الروبوتات على العمليات السابقة ، إذ تقوم هذه الوحدات ، بالإضافة إلى ذلك ، بضبط عملية اللحام ذاتها بفضل ما زودت به من برامج جاهزة software . فعلى سبيل المثال ، يكون من الضرورى فى عمليات اللحام البقعى توقيت فترة إطباق إلكترودى اللحام على قطعتين معينتين ، ويسمى الوقت المخصص لهذه العملية « وقت الضغط » Squeeze time . كذلك ينبغى فى كل حالة تحديد قيمة التيار الكهربى عبر الوصلة ، حيث تحدد هذه القيمة كمية الحرارة اللازمة لصهر موضع اللحام . يضاف إلى ذلك أيضا ، ضرورة تحديد طول فترة الانتظار hold time التى يتباعد فيها الإلكترودان عن سطح المشغولة لإتاحة وقت للتبريد . تحتاج كل هذه العمليات المتتالية إلى برنامج للتنسيق بينها بحسب نوع الوصلة المراد لحامها ، حيث يجرى تخزين البرنامج فى ذاكرة وحدة التحكم تمهيدا لاستدعائه .

ومن الأوامر الحاسوبية شائعة الاستخدام فى التطبيقات الروبوتية للحام البقعى :

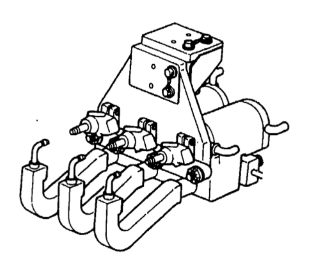
١ – أمر « اضغط » SQUEEZE : حيث تطبق بموجبه الأطراف الإلكترودية على المشغولة فى موضع اللحام .

٢ – أمر « الحم » WELD : حيث يمر التيار الكهربى بموجبه بين طرفى الإلكترودين عبر الوصلة الجارى لحامها .

٣ – أمر « انتظر » HOLD : حيث يحتفظ الإلكترودان بوضعهما لفترة زمنية تكفى لتبريد الوصلة .

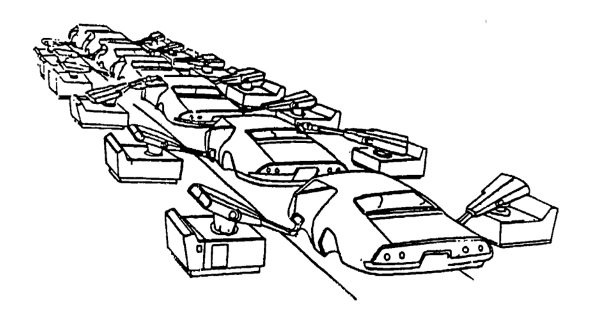
وبمجرد صدور الأمر الأول ، تؤثر مدفعة اللحام بضغط يصل إلى نحو ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ رطل / البوصة المربعة على قطعتى اللحام فى الموضع المطلوب . يلى ذلك سريان التيار الكهربى بعد الأمر الثانى حيث تتولد الحرارة المطلوبة وتتم عملية اللحام . وبصدور الأمر الثالث يظل طرفا الإلكترودين مطبقين على الوصلة حتى تمام دورة التبريد .

نماذج من روبوتات اللحام البقعى المتاحة تجارياً : يبين شكل (٣ – ٢) نوعا من أنواع مدفعات اللحام البقعى المستخدمة فى التطبيقات الروبوتية .



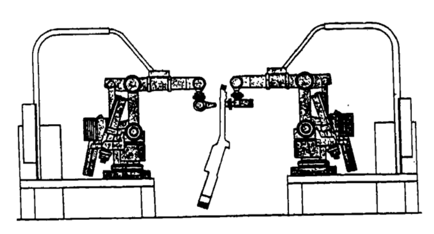
شكل (٣ – ٢) مدفعة اللحام البقعى الروبوتية
(مدفعة من إنتاج « جنرال موتورز » GM Robotics)

ويبين شكل (٣ – ٣) الروبوتات التى تنتجها شركة « يونيماشن وستنجهاوس » Unimation-Westinghouse لاستخدامها فى اللحام البقعى بمصانع السيارات .



شكل (٣ - ٣) اللحام البقعى بالروبوت على خط تجميع السيارات (الروبوت إنتاج شركة Unimation)

أما شكل (٣ - ٤) فيبين وحدة لحام بقعى روبوتية من إنتاج « آسيا » ASEA ، وتتكون من روبوتين متقابلين يقومان بعملية اللحام ، على حين يوجد نظام منفصل للتحكم المبرمج فى حركة السير الناقل والمثبتات ولمتابعة تفاصيل الوصلات الجارى لحامها . وتقوم وحدة التحكم هذه بنقل إشاراتها إلى روبوتى اللحام .



شكل (٣ - ٤) وحدة لحام بقعى روبوتية من إنتاج ASEA

ويوجد خط لتجميع السيارات بالروبوت بمصانع شركة « جنرال موتورز » . ويشتمل الخط على ١٤ روبوتا صناعيا من طراز T3 إنتاج « سينسناتى ميلاكرون » Cincinnati Milacron ، ويجرى التحكم فيها بالحاسب لإجراء عمليات اللحام البقعى فى أجسام السيارات . وينتج الخط ٧٢ هيكل سيارة فى الساعة الواحدة . وتقوم الروبوتات بعمل ٤٠٠ وصلة لحام فى كل هيكل لعدد ٤ طرازات مختلفة تمر على الخط الواحد .

وتجرى عمليات اللحام البقعى على هيكل السيارة أثناء تحرك الهيكل على شاحنته المحملة بدورها على سير أرضى . ويتم فى جميع الأحوال قياس وضع الشاحنة بالنسبة لقاعدة الروبوت وتوصيل إشارة القياس لوحدة التحكم فى الروبوت . ويحمل كل روبوت مدفعة لحام وزنها نحو ٤٥ كجم . ويتحرك هيكل السيارة حركة مستمرة بسرعة متوسطة تقدر بنحو ٨٦ مليمتر / ثانية . وعند توقف الخط ، يكمل الروبوت دورته ثم يعود إلى وضع البداية انتظارا لجسم السيارة التالية . أما إذا حدث التصاق لطرفى الإلكترودين بجسم السيارة ، فيتم إرسال إشارة من مفتاح حدى limit switch فى مدفعة اللحام إلى وحدة التحكم فى الروبوت لاستدعاء برنامج فرعى خاص special routine يعمل على فك الالتصاق قبل إكمال الدورة . ويمكن أيضا إخراج الروبوت من دورته قبل اكتمالها إذا اقتضت الضرورة ذلك .

اللحام المستمر بالقوس CONTINUOUS ELECTRIC - ARC WELDING :

يعتبر اللحام بالقوس الكهربائية (لحام القوس) عملية مستمرة إذا ما قورن باللحام البقعى الذى يجرى عادة بشكل متقطع . ويستخدم اللحام المستمر بالقوس فى عمل وصلات اللحام الطويلة التى يفترض فيها منع تسرب الهواء من خلالها . ويجرى اللحام باستخدام إلكترود على شكل سيخ rod أو سلك wire من المعدن لتمرير التيار الكهربى الشديد اللازم لإحداث القوس . وتتراوح قيمة التيار الكهربى عادة بين ١٠٠ و٣٠٠ أمبير عند جهد كهربى يتراوح بين ١٠ و٣٠ فولطا . ويؤدى اشتعال القوس بين الإلكترود والمعدن الجارى لحامه إلى توليد كمية من الحرارة تكون كافية لعمل بركة pool من المعدن المنصهر بين حافتى الوصلة . ويمكن استخدام الإلكترود أيضا مصدرا للمعدن المنصهر حيث يسهم فى تكوين البركة المنصهرة .

ويقوم عادة باللحام اليدوى بالقوس أحد العمال المهرة ، ويعاونه عادة عامل آخر يطلق عليه « البراد » fitter . ويقوم « البراد » بتجهيز المشغولات وتثبيتها فى الوضع المناسب لإجراء اللحام . وتتميز عملية اللحام بالقوس بظروفها الصعبة وبخطورتها على العامل البشرى ، إذ تنبعث أثناء العملية إشعاعات فوق بنفسجية

ultraviolet تؤذى البصر . ولذلك ، يطلب من العامل دائما ارتداء نظارة واقية ذات زجاج معتم لحجب الإشعاعات الضارة ، ولا يكاد العامل يبصر ما حوله أثناء ارتداء النظارة إلا عندما يشتعل القوس .

وتشكل درجات الحرارة العالية واحتمال تناثر المعدن المصهور خطورة على القائم بعملية اللحام . يضاف إلى ذلك ، خطورة التعامل مع تيار كهربى بالغ الشدة ، وما يصاحب عملية اللحام من أدخنة وشرر .

ومن بين الأنواع المتعددة للحام بالقوس ، يوجد نوعان أصلح من غيرهما لاستخدام الروبوتات : النوع الأول ، لحام القوس بالمعدن والغاز الخامل ، ويسمى اختصارا « لحام الميج » (MIG) ؛ والنوع الثانى ، لحام القوس بالتنجستن والغاز الخامل ، ويسمى اختصارا « لحام التيج » (TIG) . وفى النوع الأول يستعمل سلك wire من نفس نوع المعدن المراد لحامه أو من معدن مماثل . ويؤدى السلك فى الوقت نفسه دور الإلكترود الموصل للتيار الكهربى ، بالإضافة إلى مساهمته فى تكوين بركة المعدن المنصهر .

ويستخدم هذا النوع عادة فى لحام مشغولات الفولاذ (الصلب) . أما النوع الثانى ، فيستخدم فيه إلكترود من التنجستن لا ينصهر أثناء تولد القوس . وبذلك يسهم التنجستن فى ملء بركة المعد ن المنصهر . ويمكن استخدام معدن خارجى آخر لملء البركة إذا تطلب الأمر ذلك . ويستخدم لحام التنجستن والغاز الخامل عادة فى لحام مشغولات الألومنيوم والنحاس والفولاذ غير القابل للصدأ Stainless steel . ويجرى فى كلا النوعين استخدام غاز خامل مثل الهليوم أو الأرجون للإحاطة بالقوس بمجرد تولده لحماية سطح المعدن المصهور من الأكسدة .

معوقات استخدام الروبوتات فى اللحام بالقوس : نظرا للمخاطر التى تكتنف عمليات اللحام المستمر بالقوس ، فقد كان من المنطقى التفكير فى استخدام الروبوتات للقيام بهذه العمليات . إلا أن هناك العديد من المشكلات الفنية والاقتصادية التى تعترض استخدام الروبوتات فى عمليات اللحام بالقوس . فمن الشائع استخدام اللحام المستمر بالقوس فى الصناعات التشكيلية التى يجرى فيها لحام تنوعات كبيرة من المنتجات ولكن بكميات صغيرة . ولذلك يكون من الصعب فى مثل هذه الصناعات تبرير استخدام أى نوع من أنواع الأتمتة من وجهة النظر الاقتصادية . كذلك ، يجرى عادة استخدام اللحام بالقوس فى المواضع صعبة المنال ، مثل التجاويف الداخلية للسفن وأوعية الضغط والخزانات ، ويكون العامل البشرى أقدر من الروبوت على تهيئة نفسه للوصول إلى هذه الأمكنة وإجراء عمليات اللحام فيها .

ولعل أكبر تحد يواجه الروبوت فى عمليات اللحام المستمر بالقوس هو حدوث تغيرات فى الأجزاء المراد لحامها . وتكون هذه التغيرات على إحدى صورتين . فهى إما تغيرات فى أبعاد القطع المراد لحامها بحسب تنوع دفعة الإنتاج ، وتتطلب حينئذ إحداث تعديل فى مسار اللحام بالقوس من قطعة إلى أخرى . أو تغيرات فى الحواف والأسطح المطلوب لحامها ، فبدلا من أن تكون مستقيمة ومنتظمة ، تراها متعرجة وغير مسطحة . ويؤدى هذا إلى تغير فى الفجوات بين الأجزاء وحدوث مشكلة فيما يختص بتجميع القطع بعضها مع بعض قبل إجراء عملية اللحام . وقد يسهل على العامل البشرى إدراك هذه التغيرات وتداركها فى الوقت نفسه عن طريق تغيير بعض عناصر عملية اللحام (ومنها على سبيل المثال ، إعادة ضبط المسار ، وتغيير سرعة لحام الوصلة ، وملء الفجوات بكميات أكبر من المعدن ، وما أشبه) . ويكون من الصعب على الروبوتات الصناعية فى ضوء مقدرتها الاستشعارية المحدودة ، وقدرتها على التحليل والتصرف المتواضعة ، أن تنافس العامل البشرى فى هذا المجال .

ويوجد مدخلان لمحاولة علاج القصور فى الأداء الروبوتى أثناء اللحام المستمر بالقوس ، وهما :

١ - تعديل المراحل الإنتاجية السابقة لعملية اللحام على نحو يقلل كثيرا من التغيرات سابقة الذكر ويجعلها فى متناول الإمكانات الروبوتية .
٢ - تزويد الروبوت بمستشعرات لها المقدرة على مراقبة التغيرات فى عملية اللحام ، وتزويده كذلك بدوائر تحكم منطقية لاستيعاب التغير فى أبعاد المشغولات وعدم انتظام فجوات اللحام weldg-gap irregularities .

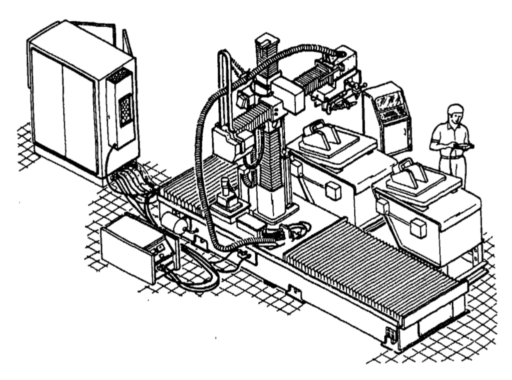
وللمدخل الأول جاذبية خاصة ، إذ أنه يؤدى بوجه عام إلى تحسين جودة المنتجات وتبسيط التطبيق الروبوتى وخفض تكلفته . ولا يعيب هذا المدخل إلا ما يسببه من زيادة فى تكلفة المشغولات المنفردة نتيجة للتقيد بمعايير تفاوت (سماح) بعدية أكثر صرامة قبل عملية اللحام .

أما المدخل الثانى ، فيمثل مجالا خصبا للبحوث المكثفة فى التقنيات الروبوتية ، ويمكن أن يؤدى فى المستقبل القريب إلى خفض تكلفة المشروعات الروبوتية وتحسين مؤشرات أدائها .

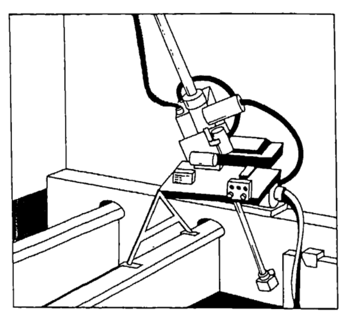
التطبيقات الروبوتية النمطية فى مجال اللحام بالقوس : تستخدم الروبوتات عادة فى عمليات اللحام بالقوس عندما تكون معدلات الإنتاج كبيرة أو متوسطة ، وذلك

بسبب ما يكتنف الأداء الروبوتى من مشكلات اقتصادية وفنية . ويمكن فى هذه الحالات تبرير استخدام الوحدات الروبوتية التى تتكون عادة من روبوت اللحام ومعدات مناولة أو تثبيت . ويناط بمعدات أو جزء التثبيت فى الخلية الروبوتية تثبيت الأجزاء المراد لحامها وضبطها فى وضع مناسب لعملية اللحام . أما جزء المناولة فى الخلية ، فيختص بتوجيه المشغولات وتغيير وضعها لتلائم التغير فى وضع الروبوت . ويضيف هذا الجزء ما بين درجة ودرجتين للطلاقة degrees of freedom إلى الخلية الروبوتية ككل . ويزود الروبوت بسيخ لحام أو بنظام للتغذية بسلك اللحام وبمصدر تغذية كهربية مناسب من حيث قيمة الجهد والتيار . وتقوم وحدة تحكم الخلية بالتنسيق بين حركة الروبوت ، وقيمة تيار اللحام ، ومعدل التغذية بالسلك ، وضبط حركة المناول ، وأى نشاطات أخرى داخل الخلية من تأمين وإنذار وما أشبه .

ويبين شكل (٣ - ٥) نموذجا لخلية روبوتية للحام بالقوس ، كما يبين شكل (٣ - ٦) نموذجا لروبوت أثناء عملية لحام بالقوس فى قاع هيكل سفينة .



شكل (٣ - ٥) نموذج لخلية روبوتية للحام بالقوس



شكل (٣ - ٦) روبوت لحام بالقوس يقوم بعملية اللحام فى قاع هيكل سفينة .

وتستخدم العمالة البشرية فقط فى تحميل وتفريغ جزء التثبيت . وتحتوى عادة ، كما يظهر فى شكل (٣ - ٥) ، على جزءى تثبيت ، ويمكن بذلك قيام الروبوت باللحام على أحد جزءى التثبيت بينما يقوم العامل بتفريغ الجزء الآخر ، مما يزيد الإنتاجية ويرفع كفاءة استغلال الروبوت .

الخصائص المميزة لروبوتات اللحام بالقوس : ينبغى توافر خصائص معينة فى الروبوتات التى يراد لها القيام بعمليات اللحام بالقوس ، وسوف نناقش فيما يلى أهم هذه الخصائص :

١ - حيز العمل ودرجات الطلاقة WORK VOLUME AND DEGREES OF FREEDOM : يجب أن يكون حيز العمل بالاتساع الكافى لاستيعاب المشغولات المطلوب لحامها . كما يجب ترك فراغ كاف لحركة مناول معدات اللحام . ولابد أيضا من تصميم نطاق عمل الرأس الروبوتى على نحو يمكنه من الوصول إلى أجزاء التثبيت ، خاصة فى حالة وجود أكثر من مثبت داخل الخلية الروبوتية . وتتوافر عادة ما بين خمس وست درجات طلاقة لحركة الآلية الروبوتية ، إلا أن عدد درجات الطلاقة يتوقف على طبيعة عملية اللحام وعدد درجات الطلاقة التى يتمتع بها المناول manipulator ، إذ تخصم هذه الدرجات من درجات الطلاقة للروبوت .

٢ – نظام التحكم فى الحركة MOTION CONTROL SYSTEM : يتميز روبوت اللحام بالقوس بوجود نظام تحكم من النوع متصل المسار continuous-path control إذ لابد أن يكون الروبوت قادرا على الحركة السلسة المستمرة للحفاظ على تجانس وصلة اللحام . كما يحتاج الروبوت إلى فترة من السكون dwell فى بداية الحركة حتى يكتمل تكوين بركة اللحام welding puddle وأخرى مماثلة فى نهاية الحركة لإنهاء عملية اللحام .

٣ – دقة الحركة PRECISION OF MOTION : تتوقف جودة عملية اللحام الروبوتى إلى حد كبير على دقة وتكرارية repeatability حركته . أما الدقة ، فتعنى إمكان تغيير ظروف اللحام بحسب تغير أبعاد المشغولات ومتطلبات الصناعة . ولذلك ، ينبغى لمن يرغب فى استخدام الروبوت أن يحدد بدقة الظروف والمتطلبات الخاصة بعملية اللحام بالقوس ، حتى يتجنب أية مشكلات قد تنشأ بسبب سوء الاختيار الروبوتى .

٤ – التعامل مع النظم الأخرى INTERFACE WITH OTHER SYSTEMS : ينبغى تزويد الروبوت بإمكانات كافية للتحكم وإدخال وإخراج البيانات والإشارات حتى يمكنه التعامل مع المعدات الأخرى الموجودة داخل الخلية الروبوتية ، التى تشمل أداة اللحام ومعدات التثبيت والتوجيه . ويجب أن يتمكن جهاز التحكم من التنسيق بين السرعة والمسار والعناصر الأخرى مثل معدل التغذية بسلك اللحام ومستوى التغذية الكهربية .

٥ – البرمجة PROGRAMMING : تتطلب برمجة الروبوت للقيام بعملية اللحام المستمر بالقوس عناية خاصة . ويكون من المناسب استخدام طريقة « التمشية » walkthrough التى يتحرك فيها معصم الروبوت حركة انتقالية على طول مسار اللحام ، إذ يسهل مع هذه الطريقة استعمال برامج لحام تصلح للأشكال المتغيرة غير المنتظمة . أما بالنسبة للحام فى مسارات مستقيمة ، فيجب تزويد الروبوت بمقدرة « الاستيفاء الخطى » بين نقطتين فى الفراغ Linear interpolation between two points in space . وسوف يمكن هذا مبرمج الروبوت من أن يحدد فقط نقاطا للبداية والنهاية على طول مسار الحركة ويترك بعد ذلك للروبوت تخطيط مساره بين هذه النقاط .

وقد تتطلب بعض تطبيقات عمليات اللحام اتباع نمط تموجى weave pattern (حركة خلفية وأمامية عبر وصلة اللحام) أثناء إجراء العمليات . كما تتطلب بعض

التطبيقات الأخرى أداء مجموعة متتالية ومتوازية من المسارات بطول المسار الأول وعلى نحو يجعل كل مسار جديد متراكبا تراكبا جزئيا مع سابقه slightly offset لإضفاء التحدب المناسب على وصلة اللحام . وتحتاج مثل هذه التطبيقات إلى كثافة غير عادية فى عمليات اللحام مقارنة باللحام ذى المسار المفرد . ولذلك يجرى تزويد روبوتات اللحام القوسى عادة ببرامج خاصة تمكنها من القيام بكل من اللحام التموجى weave welding واللحام ذى المسارات المتعددة multiple-welding passes . ويمكن لمشغل الروبوت تحديد العناصر اللازمة لتتبع مسار لحام محدد . ومن أمثلة هذه العناصر ؛ عدد التموجات بكل بوصة من المسار ، وسعة التموج weave amplitude ، وفترة السكون dwell على كل جانب من جانبى التموج ، وذلك فى حالة اللحام التموجى . أما فى حالة العمليات متعددة المسارات ، فيعطى المشغل لوحدة التحكم فى الروبوت البيانات الخاصة بمقدار واتجاه « الزحزحة » offset بين المسارات .

وتستخدم عادة لغة « ريل » RAIL LANGUAGE لبرمجة الروبوتات المستخدمة فى اللحام المستمر بالقوس . وقد صممت شركة « أوتوماتيكس » AUTOMATIX هذه اللغة لتلائم نظم « الرؤية الروبوتية » Robovision ونظم « الرؤية السبرانية » Cybervision الخاصة بها .

وتجدر الإشارة إلى أن ما ذكر عاليه من خصائص البرمجة قد بنى على أساس افتراض انتظام حواف مكونات وصلة اللحام على طول المسار ، وكذلك على أساس تطابق أبعاد وأشكال المكونات المطلوب لحامها بنفس البرنامج ، على نحو يمكن الروبوت من أداء لحام متميز الجودة والتطابق .

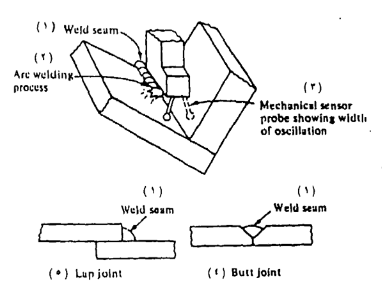
وتأتى معظم الصعوبات التى تكتنف اللحام الروبوتى بالقوس من عدم تحقق هذين الشرطين . ولكن جهود المصممين لم تستسلم لهذه الصعوبات ، إذ أمكن التغلب عليها بتزويد الروبوت بنظم مستشعرات فائقة القدرة يمكنها متابعة أى تغيرات طارئة فى المسار والتوفيق بين عناصر التحكم لاستيعاب هذه التغيرات .

المستشعرات فى اللحام الروبوتى بالقوس SENSORS IN ROBOTIC ARC WELDING : توجد حاليا تنوعات كبيرة من مستشعرات اللحام بالقوس ، بعضها متاح تجاريا والآخر فى دور التطوير والبحث .

وسوف نركز هنا على الأنواع المتاحة تجاريا . وقد صممت هذه المستشعرات لتتبع درزة اللحام welding seam وإمداد جهاز التحكم فى الروبوت بالمعلومات التى تساعده على توجيه مسار الروبوت أثناء اللحام . وهناك مدخلان لتحقيق ذلك .

المدخل الأول يعتمد على التلامس المباشر ، والمدخل الثانى يعتمد على الاستشعار بدون تلامس :

١ – مستشعرات اللحام القوسى التلامسية CONTACT ARC-WELDING SENSORS : يستخدم فى هذا النوع من المستشعرات مجسات لمسية ميكانيكية mechanical tactile probes (تكون فى أحيان كثيرة كهرميكانيكية) ، تتحسس حز اللحام welding groove قبل وصول أداة اللحام إلى موضعه وترسل إشاراتها إلى جهاز التحكم بنظام التغذية المرتدة الذى يرسل بدوره إشارات التقويم اللازمة لتوجيه أداة اللحام فى الوضع الصحيح . وهناك بعض النظم التى تستخدم وحدة تحكم منفصلة لمعالجة إشارات المستشعر ، وإرسالها بعد ذلك إلى جهاز التحكم فى الروبوت . ولكى يمكن إجراء قياسات الموضع ، يجب إحداث اهتزازات فى المجس probe من أحد جانبى حز اللحام إلى الجانب المقابل . ويترتب على ذلك اقتصار استخدام هذا النوع من المستشعرات على أشكال اللحامات التى تسمح بمثل هذا النوع من التلامس بين الجانبين . ومن أمثلة هذه اللحامات ؛ اللحام « التناكبى » butt welding ، واللحام التراكبى lap welding ، واللحام الزاوى fillet welding . ويبين شكل (٣ – ٧) عملية استشعار الموضع فى حالات اللحام المختلفة التى تستخدم فيها المستشعرات التلامسية .



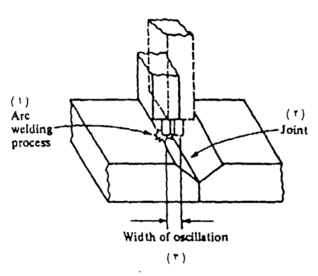
شكل (٣ - ٧) رسم تخطيطى لمستشعر تلامسى فى عملية لحام بالقوس ، وأنواع الوصلات التى يمكن لحامها باستخدامه

(١) درزة لحام ، (٢) عملية اللحام بالقوس ، (٣) مجس مستشعر ميكانيكى أثناء التذبذب بين الجانبين ، (٤) وصلة تناكبية ، (٥) وصلة تراكبية .

وهناك خاصية أخرى تحد من استخدام هذا النوع من المستشعرات ، وهى ضرورة تقدم مجس المستشعرات على أداة اللحام ، وهذا يتطلب أن تكون الوصلة المطلوب لحامها طويلة ومستقيمة .
ومن السهل ملاحظة تخلف هذا النوع من المستشعرات عن مواكبة الإمكانات المتعاظمة للآليات الروبوتية فى مجال اللحام .

٢ - مستشعرات اللحام القوسى غير التلامسية NONCONTACT ARC-WELDING SENSORS : لا تعتمد هذه المستشعرات على قياسات تلامسية ، وأشهر الأنواع المتاحة تجاريا منها هى من النوع الذى يستخدم نظم استشعارات القوس (الشرر) ، والنوع الذى يعتمد على الرؤية vision-based .

(أ) نظم استشعار القوس ARC-SENSING SYSTEMS : وتسمى أحيانا « نظم تخلل القوس » through - the - arc systems وتعتمد على القياسات التى تجرى على القوس ذاته . وهى إما قياسات للتيار الكهربى (فى حالة اللحام ثابت الجهد) ، وإما قياسات للجهد الكهربى (فى حالة اللحام ثابت التيار) . وينبغى أن تكون هذه القياسات متغيرة أثناء اللحام حتى يمكن الاعتماد عليها فى متابعة المسار الجارى لحامه . ويتطلب ذلك أرجحة القوس أماما وخلفا عبر الوصلة أثناء حركة طرف اللحام على طول المسار . ويمكن تحقيق ذلك ببرمجة الروبوت لإحداث النمط التموجى المطلوب ، أو باستخدام نظام مؤازرة servo system ملحق بمعصم الروبوت robot wrist لأرجحة طرف أداة اللحام ، أو باستخدام أية آلية أخرى شبيهة . وتسمح الحركة التموجية للقوس بترجمة الإشارات الكهربية إلى بيانات خاصة بالوضع الرأسى والوضع المستعرض لطرف أداة اللحام . ويعمل جهاز التحكم على مواءمة وضع طرف اللحام أثناء حركته للأمام على طول محور الوصلة للحفاظ على المسار المطلوب . ففى حالة مصادفة عدم انتظام الحواف على طول الوصلة ، يعمل نظام التحكم على استيعاب ذلك إما بتغيير طول القوس (فى حالة نظم التيار الثابت) وإما بتغيير المسافة بين طرف أداة اللحام والسطح (فى حالة نظم الجهد الثابت) .
ويبين شكل (٣ - ٨) نموذجا لنظام استشعار غير تلامسى يعمل بأسلوب تخلل القوس .



شكل (٣ – ٨) نموذج لنظام استشعار غير تلامسى يعمل بأسلوب تخلل القوس ، وموضحا عليه عرض ذبذبة الاستشعار .

(١) عملية اللحام بالقوس ، (٢) الوصلة ، (٣) عرض الحركة التذبذبية .

تكاد تكون محددات استخدام المستشعرات التلامسية فى اللحام القوسى هى نفس محددات استخدام المستشعرات غير التلامسية التى تعمل بنظام تخلل القوس ، إذ يجب فى الحالة الأخيرة أيضا أن يكون شكل حز اللحام ملائما لإحداث ذبذبة الاستشعارات على جانبى الحز . وهذا النظام مازال أكثر النظم غير التلامسية شيوعا على المستوى التجارى فى وقتنا الراهن .

(ب) النظم المعتمدة على الرؤية VISION-BASED SYSTEMS : تمثل هذه النظم تقنية واعدة فى مجال تتبع الوصلات فى عمليات اللحام بالقوس . وتستخدم فى هذه النظم « كاميرا » للرؤية vision camera مثبتة إلى الروبوت قرب طرف أداة اللحام لتشرف على مسار الوصلة . وفى بعض الأحيان ، تشكل « الكاميرا » جزءا من رأس اللحام ذاته . وتحتاج « الكاميرا » عادة إلى إضاءة قوية لتعمل على وجه مرض .

وهناك نوعان من مستشعرات الرؤية المستخدمة فى اللحام القوسى ، النوع الأول ذو مسارين two-pass system ، والثانى ذو مسار مفرد single-pass system . وفى كلا النظامين لابد من برمجة الروبوت قبل بدء عملية اللحام . وفى النظام ذى المسارين ، تتخذ « الكاميرا » مسارا أوليا على طول الوصلة

قبل بدء عملية اللحام ، ويكون الروبوت قد جرت برمجته قبل ذلك ، كما سبق وأوضحنا ، على أساس مسار محدد لوصلة اللحام . ويسلط الضوء أثناء المسار الأول على وصلة اللحام وتقوم « الكاميرا » بعمل مسح للوصلة بسرعة عالية (نحو ١ متر / الثانية أو أقل قليلا) ، ويتم فى هذه الأثناء التعرف على وجود أى انحرافات فى مسار الوصلة عن المسار المحفوظ فى ذاكرة الروبوت .

ويجرى فور ذلك تحليل الانحرافات بواسطة جهاز التحكم لتجنب آثارها فى المسار الثانى . ويقوم جهاز التحكم أثناء المسار الثانى ، الذى تجرى فيه بالفعل عملية اللحام ، بعمل التصويبات اللازمة وفقا لما استشعرته « الكاميرا » فى المسار الأول . ويحتاج المسار الأول إلى نحو ١٠٪ فقط من الوقت اللازم لمسار اللحام . ومن مميزات النظام ذى المسارين ، أن عملية المسح التى تجرى فى أثناء المسار الأول تكون خالية من أية عوائق للرؤية ، أمثال الأدخنة والإضاءة الباهرة المنبعثة من القوس ، مما يحدث أثناء تنفيذ عملية اللحام .

أما فى حالة النظام ذى المسار المفرد ، فتسبق « الكاميرا » طرف أداة اللحام ، حيث تقوم بمسح المنطقة قبل إجراء اللحام بها لتتبين وجود أى انحرافات عن البرنامج الموضوع مسبقا ، ويجرى التصويب فورا لحركة الروبوت . ومن مميزات هذا النظام ما يوفره من وقت مقارنة بالنظام ذى المسارين ، بالإضافة إلى إمكان اكتشاف بعض التشوهات فى المسار التى تسببها حرارة اللحام والتى لا يمكن التنبؤ بها عند إجراء المسح على البارد فى المسار الأول (فى حالة النظام ذى المسارين) .

ومن أمثلة النظم ذات المسار المفرد المتاحة تجاريا ما تنتجه شركة أوتوماتكس Automatix Inc. تحت اسم Robovision II وما تنتجه شركة جنرال إليكتريك General Electric تحت أسم Weld Vision .

ويجرى توجيه « الكاميرا » فى نظام شركة « أوتوماتكس » أمام موضع اللحام بنحو ٤ سنتيمترات ، ويتم تحليل الصورة لمعرفة موضع مركز الوصلة ، وعرضها ، وبعد « الكاميرا » . أما فى نظام شركة « جنرال الكتريك » فيدمج مستشعر الرؤية فى رأس اللحام . ويظهر فى الصورة التى تلتقطها « الكاميرا » بركة اللحام والوصلة الموجودة أمامها . وبتحليل وضع البركة والوصلة يمكن ضبط المسار أوتوماتيا .

مزايا وفوائد اللحام القوسى الروبوتى : يمكن إيجاز المزايا والفوائد التى يحققها استخدام الروبوت فى عمليات اللحام بالقوس فيما يلى :

١ – زيادة الإنتاجية .
٢ – تحسين ظروف العمل وتقليل المخاطر .
٣ – رفع جودة المنتج الملحوم .
٤ – ترشيد عملية اللحام .

إذ تتميز عمليات اللحام اليدوى بالقوس بانخفاض الإنتاجية بشكل ملحوظ . وتقاس الإنتاجية فى عملية اللحام القوسى بطول الفترة الزمنية التى يشتغل فيها القوس "arc-on" time مقارنة بإجمالى الفترة الزمنية التى تستغرقها عملية اللحام . وتتراوح النسبة بين الفترتين فى حالة اللحام اليدوى بين ١٠٪ و ٣٠٪ . وتختص النسبة الدنيا بحالة الإنتاج المفرد فى كل عملية لحام ، على حين تختص النسبة العليا بحالة الإنتاج المتكرر على دفعات . ولعل أهم العوامل المسببة لانخفاض الإنتاجية فى حالة اللحام اليدوى هو ما يصيب العامل من إرهاق أثناء اللحام ، إذ أن عملية اللحام اليدوى بالقوس تتطلب استجابة عصبية خاصة بين اليد والعين ، بالإضافة إلى ما يكتنفها من تصاعد الأدخنة والشرر والإبهار الضوئى ، مما يتطلب لجوء العامل إلى الراحة على فترات قصيرة .

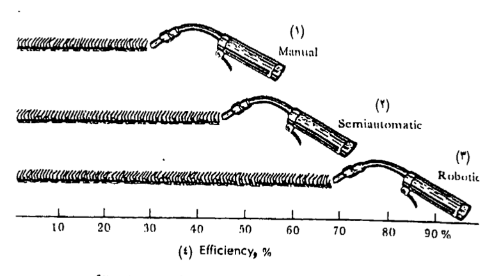
ويؤدى استخدام الروبوت عادة إلى زيادة النسبة السابقة حيث تتراوح بين ٥٠٪ و ٧٠٪ . ويرجع السبب فى ذلك أساسا إلى إمكان قيام الروبوت بعملية اللحام طوال فترة العمل « الوردية » دون كلل وبدون فترات راحة . وهناك سبب آخر لذلك ، وهو يتعلق بوجود وحدتى تثبيت وتجهيز داخل الخلية الروبوتية ، مما يزيد من فاعلية استغلال وقت الروبوت .

ويبين شكل (٣ – ٩) رسما بيانيا يعبر عن كفاءة الدورة الزمنية فى حالة اللحام القوسى بالأسلوب اليدوى ، وبالأسلوب شبه الأوتوماتى semiautomatic ، وباستخدام الروبوت .

أما من حيث تحسين ظروف العمل ، فإن اللحام بواسطة الروبوت يجنب العامل البشرى الأخطار والأضرار المعروفة التى تنجم عن عمليات اللحام القوسى .

وترجع جودة منتجات اللحام الروبوتى إلى مقدرة الروبوت على تكرار تحركاته بدقة عالية مقارنة بالعامل البشرى ، مما يعطى وصلة اللحام تجانسا أكثر وخلوا من الامتلاء الزائد بمعدن اللحام فى أول الوصلة وفى نهايتها .

أما ترشيد عملية اللحام ذاتها ، فيقصد به ما يتطلبه اللحام الروبوتى من التحديد المسبق لنوعية اللحام ، وتدبير مخزون المواد ، والاقتصاد فى الطاقة والخدمات والوقت .



شكل (٣ – ٩) كفاءة الدورة الزمنية للحام بالقوس فى الحالات المختلفة

(١) لحام يدوى ، (٢) لحام نصف أوتوماتى ، (٣) لحام بالروبوت ، (٤) الكفاءة ، ٪ .

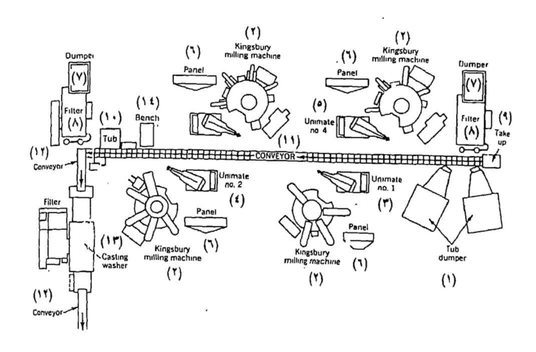
استخدام الروبوتات الصناعية فى تداول المواد :

يؤدى استخدام الروبوتات الصناعية فى عمليات تداول المواد إلى تحقيق مزايا مهمة من أهمها إعفاء العمال من حمل المشغولات الثقيلة وحمايتهم من أخطار التعامل المباشر مع المكنات . وسوف نسوق فيما يلى بعض الأمثلة لاستخدام الروبوتات فى شحن المكنات .

ويبين شكل (٣ – ١٠) أحد خطوط الإنتاج المؤتمتة التى يستخدم فيها أربعة روبوتات لتحميل وتفريغ أربع مكنات تفريز . تستخدم المكنات لتشغيل جسم محرك تزود به إحدى الشاحنات الثقيلة ، ويخدم الروبوتات والمكنات سير ناقل توضع عليه القطع المراد نقلها . ويتميز خط الإنتاج بالمرونة ، إذ يمكنه تشغيل أكثر من طراز من أجسام المحركات دون الاحتياج لإعادة ضبط آليات التثبيت . وقد استخدمت الروبوتات فى هذا الخط لتقليل الوقت الذى يستغرقه نقل ووضع المشغولات بواسطة العمالة اليدوية ، أخذا بالاعتبار سرعة التشغيل العالية التى تتميز بها مكنات التفريز المؤتمتة .

وتجرى مواءمة سرعة تداول الروبوتات للمشغولات مع سرعة عمليات التشغيل على المكنات على نحو يحقق أعلى عائد إنتاجى ويقلل من المنتجات التالفة .

ويمكن بوجه عام تشغيل الروبوتات مع المكنات على التوالى أو على التوازى



شكل (٣ - ١٠) التغذية الأوتوماتية لخط إنتاج باستخدام الروبوتات

(١) حوض غسيل المشغولات ، (٢) مكنة تفريز أوتوماتية ، (٣) روبوتات تداول ، (٤) لوحة تحكم ، (٥) حوض تغطيس ، (٦) مرشح ، (٧) رافعة ، (٨) حوض ، (٩) سير ناقل ، (١٠) ناقل ، (١١) مرشح ، (١٢) غسل المسبوكات ، (١٣) ناقل .

بحسب كمية الإنتاج المستهدفة . فلو افترضنا أن دورة تشغيل جسم المحرك على المكنة تستغرق ٨ ثوان ، فمن الممكن تشغيل المكنات على التتابع بحيث يقوم الروبوت الأول بتحميل المكنة الأولى ثم التقاط المشغولة من عليها ووضعها على السير الناقل حيث يلتقطها الروبوت التالى لوضعها على المكنة الثانية ، وهكذا ، إلى أن تكتمل عملية التشغيل باستخدام المكنات الأربع . فإذا افترضنا أن خط الإنتاج يعمل لمدة ١٦ ساعة يوميا (فترة التشغيل الواحدة ٨ ساعات) ، فإنه يمكن بهذا الأسلوب إنتاج ٧٢٠٠ قطعة يوميا .

ويمكن كذلك تشغيل المكنات على التوازى ، حيث يقوم روبوت واحد بخدمة مكنة واحدة خلال دورة التشغيل الكاملة ، وبذلك يمكن إنتاج ٤ قطع كل ٨ ثوان بدلا من قطعة واحدة فى حالة الأسلوب المتتابع . وبذلك يمكن تحقيق إنتاج يومى بمعدل ٢٨٨٠٠ قطعة .

ورغم ارتفاع الإنتاجية فى حالة التشغيل على التوازى ، فإن ذلك يتطلب

تركيب مكنات على درجة عالية من الأتمتة حتى يمكن إنجاز أربع عمليات تشغيل مختلفة على المكنة ذاتها دون أى توقفات لتعديل وضع المشغولة .

ويوضح المثال السابق أهمية التنسيق بين عمل الروبوت وعمل المكنات ، سواء فى مرحلة تصميم معدات الخط الإنتاجى أو فى أثناء تشغيله ، وهى السمة الحالية للروبوتات الحديثة التى تعمل كما لو كانت جزءا لايتجزأ من الوحدة الإنتاجية المتكاملة .

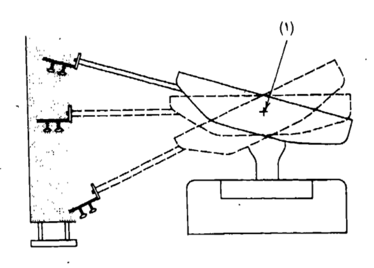
أما المثال الثانى لأهمية استخدام الروبوتات فى تحميل المكنات ، فيتضح فى عملية تحميل المكابس الضخمة التى تمثل خطرا جسيما على العمال . وقد تواتر وقوع إصابات مميتة بين العمال فى هذه الصناعة بسبب الخطأ أو السهو الذى يدفع ثمنه العامل المنكوب نتيجة تشغيل المكبس ، بينما تكون يد العامل ممتدة بالمشغولة أسفله .

ولذلك تم التفكير فى استخدام الروبوت لتحميل أحد المكابس الضخمة الذى تبلغ قدرته ١٥٠ طنا ، ويستخدم فى تشكيل أبواب الأفران الضخمة من كمرات وألواح الفولاذ . وقد شجع صاحب العمل على استخدام الروبوت أيضا كثرة تغيير قوالب الكبس بسبب تغير شكل المشغولات وعدم إمكان اللجوء إلى الأتمتة الكاملة للخط الإنتاجى بسبب عدم الاستمرارية . ويتضح فى مثل هذه الحالات التفوق الكبير للروبوتات المبرمجة على نظائرها من وسائل الأتمتة الأخرى التى تناسب فقط حالات الإنتاج الكمى المتواصل .

يقوم الروبوت ، بدلا من العربة ذات الشوكة الرافعة forklift truck ، بتداول قوالب الكبس ووضعها أو رفعها من أمكنة تثبيتها أسفل المكبس فى كل مرة يتغير فيها طراز المشغولة . ويتطلب الأمر عودة الروبوت إلى موضعه أمام المكبس بدرجة عالية من الدقة .

وقد وقع الاختيار على روبوت هيدرولى يتحرك على عجلات للقيام بالمهام المطلوبة . ويرجع ذلك إلى رخص التكلفة وإلى ما تتميز به الروبوتات الهيدرولية من مقدرة عالية على تكرار الحركات بنفس الدقة . والروبوت ذو هيئة « كروية » (انظر الفصل الثانى) وأربعة محاور حركية مبرمجة باستخدام مصدات لبداية ونهاية الحركة على كل محور (آليات غير مؤازرة) . ويتميز النظام الحركى المذكور بدرجة عالية من الدقة فى تحديد الوضع الابتدائى والوضع النهائى للحركة ، إلا أن هذا النظام لا يساعد على اتخاذ أى وضع مبرمج بينهما . وهنا تكمن مشكلة الروبوت فى الحالة التى يطلب منه فيها التقاط مشغولات من على أرفف رأسية ،

كما فى شكل (٣ – ١١) ، حيث يحتاج الأمر إلى تغيير المسافة القطرية بين محور الدوران والمشغولة بحسب ارتفاع الرف ، كما يظهر فى الشكل على نحو مبالغ فيه بهدف التوضيح . ولو أمكن إحداث هذا التغيير عند التقاط المشغولة ، فإن ذلك سوف يؤدى إلى انحراف أو تزحزح وضع المشغولة على القالب فى المكبس لأن الروبوت غير مهيأ لاتخاذ وضع بينى جديد بين نقطتى بداية ونهاية الحركة على المحور القطرى .



شكل (٣ – ١١) مشكلة المواءمة مع وضع المشغولات التى تواجه الروبوت الكروى المزود بمحاور ذوات مصدات ميكانيكية ثابتة
(١) مركز الدوران – محور رقم ٢

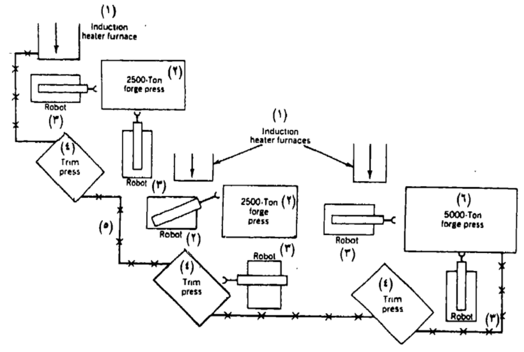
ويمكن حل المشكلة السابقة إذا ما جرى صف المشغولات فى منحنى متوافق مع المنحنى المغلف لحركة طرف الروبوت ، ويتطلب هذا إجراء بعض التعديلات على تصميم الأرفف . ولا يوجد بديل لهذا الحل سوى اقتناء روبوت أغلى سعرا يكون مزودا بنظام تحكم محورى أكثر تعقيدا .

ومن الشائع استخدام أجهزة التقاط من نوع « الأكواب الشفاطة » suction cups التى يجرى تثبيتها إلى قابض الروبوت . وتتميز هذه الأكواب (المصنوعة عادة من المطاط) بشىء من المطاوعة يسمح ببعض التفاوتات عند التقاط المشغولات التى تتغير أوضاعها تغيرات طفيفة عند وضعها فى المكبس .

تناولنا فى المثالين السابقين استخدام الروبوتات فى تداول المواد على مكنات التشغيل والتشكيل بالكبس . إلا أن هناك مبررات أقوى لاستخدام الروبوتات فى

عمليات التشكيل على الساخن فى مصانع المطروقات وفى عمليات السباكة فى القوالب الدائمة . إذ يمكن لأى زائر لهذه المصانع إدراك مدى الضوضاء والحرارة المرتفعة اللتين تكتنفان العمل فى هذه الأمكنة .

ويبين شكل (٣ – ١٢) رسما تخطيطيا لاستخدام روبوتين فى كل خلية من الخلايا الثلاث المستخدمة فى أحد مصانع المطروقات . يقوم الروبوت الأول فى كل خلية بالتقاط الكتلة الساخنة من مخرج الفرن الحثى ثم وضعها فى مكانها الصحيح أسفل مكبس الطرق الذى تبلغ قدرته ٢٥٠٠ طن . على حين يقوم الروبوت الثانى بالتقاط الكتلة بعد طرقها من على قاعدة مكبس الطرق ثم وضعها على مكبس آخر لتشذيب أطرافها . ويمكن من الشكل ملاحظة السياج الواقى المحيط بالخلايا الثلاث والذى يمنع دخول الأفراد إلى حرم التشغيل درءا للحوادث .

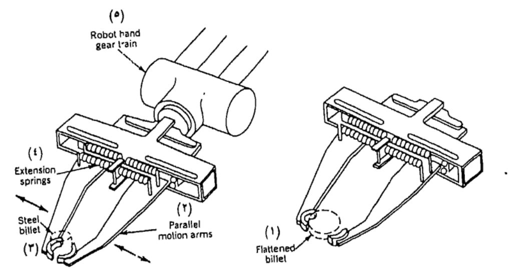


شكل (٣ – ١٢) ثلاث خلايا روبوتية فى مصنع للمطروقات

(١) فرن تسخين حثى ، (٢) مكبس طرق قدرة ٢٥٠٠ طن ، (٣) روبوت ، (٤) مكبس تشذيب ، (٥) فرن تسخين حثى ، (٦) سياج واق ، (٧) مكبس طرق قدرة ٥٠٠٠ طن ..

وتعتبر مشكلة الإمساك بالمشغولات الساخنة من أهم المشكلات التى تواجه الروبوت فى صناعة المطروقات . ورغم تصميم القابض الروبوتى من مواد مقاومة للحرارة المرتفعة ، فإنه تجرى فى أحيان كثيرة برمجة الروبوت على نحو يجعله

يغمس قابضيه فى حوض به ماء بارد بعد التخلص من الكتلة الساخنة مباشرة ، تمهيدا لدورة العمل التالية . أما المشكلة الثانية فهى تغير أبعاد المشغولات بعد عملية الطرق مما يستدعى مواءمة قابضى الروبوت لاستيعاب هذا التغير . ويبين شكل (٣ - ١٢) قابضا روبوتيا مزودا بنابض (ياى) spring لإحكام الإطباق على المشغولات متغيرة الأبعاد . ويلاحظ فى الشكل طول أصابع القابض وتفلطحها لإعاقة وصول الحرارة إلى الذراع الروبوتية مع تحقيق المتانة اللازمة لتداول المشغولات الثقيلة .



شكل (٣ - ١٣) قابض روبوتى من النوع المستخدم فى تداول المشغولات الساخنة

(١) كتلة مفلطحة (بعد عملية الطرق) ، (٢) ذراعا الحركة المتوازية ، (٣) الكتلة الفولاذية (قبل الطرق) ، (٤) نابض (ياى) تمددى ، (٥) مجموعة تروس يد الروبوت .

استخدام الروبوتات فى عمليات الطلاء بالرش :

توجد أسباب جوهرية تدعو إلى استخدام الروبوتات فى عمليات الطلاء بالرش . فمن ناحية ، تعتبر هذه العمليات من أسوأ العمليات الصناعية تأثيرا على البيئة وعلى صحة العمال . ومن ناحية أخرى ، توجد مزايا تقنية واقتصادية متعددة لاستخدام الروبوتات فى هذه العمليات . وتعتبر المذيبات المستخدمة فى تركيب الطلاءات من المواد السامة وأحيانا من المواد المسببة للسرطان ، ولذلك يجب على العمال الذين يقومون بأعمال الطلاء ارتداء أقنعة واقية ، وإن كان ذلك غير كاف لوقايتهم من أضرار مواد الطلاء . كذلك تصاحب عملية الطلاء بالرش ضوضاء شديدة تتجاوز معدلاتها القيم المسموح به عالميا ، هذا بالإضافة إلى خطر اشتعال مواد الطلاء سريعة الالتهاب .

أما المزايا التقنية والاقتصادية التى يوفرها استخدام الروبوتات فى هذا المجال فيمكن إيجازها فيما يلى :

١ - يؤدى استخدام الروبوتات إلى تحسن جودة المنتجات بسبب انتظام سرعة الروبوت وتجانس طبقة الطلاء .
كما يؤدى عدم وجود البشر إلى تحكم أفضل فى تهوية حيز العمل بكيفية تقلل من تلوثه بالقاذورات والأتربة . وقد أثبتت الممارسة العملية مسؤولية العمال عن غالبية عيوب الطلاء فى صناعة السيارات ، على الرغم من أنهم لا يقومون إلا بنسبة ٢٠ ٪ فقط من إجمالى عمليات الطلاء .

٢ - يؤدى عدم وجود البشر فى حيز العمل إلى إمكان تخفيض معدل هواء التهوية إلى أدنى حد ممكن وبالقدر الذى يمنع التلوث اللونى من سيارة إلى أخرى . كذلك يجرى التحكم فى درجات الحرارة بحسب احتياجات عملية الطلاء وليس بحسب متطلبات الراحة البشرية ، وينتج عن ذلك كله انخفاض فى معدل استخدام الطاقة اللازمة لتهيئة جو العمليات .

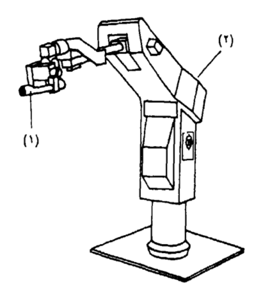
٣ - يؤدى استخدام الروبوتات إلى تقليل كمية الطلاءات التى تفقد عادة بسبب تأخر العامل البشرى فى إغلاق مدفعة الطلاء بعد ابتعاد سطح الطلاء عن نطاق عمل المدفعة . وقد أمكن فى أحد تطبيقات الطلاء بالرش الروبوتية توفير نحو ٢٢٠٠٠ دولار سنويا فى تكلفة مواد الطلاء .

٤ - يؤدى الاستغناء عن العامل البشرى إلى توفير الوقت الضائع فى عمليات إصلاح عيوب الطلاء ، وبالتالى زيادة إنتاجية المصنع .

وقد أدت المزايا السابقة مجتمعة إلى تزايد الاعتماد على روبوتات الطلاء بشكل مطرد اعتبارا من أوائل التسعينيات .

ويتكون روبوت الطلاء بالرش من ذراع روبوتية آلية ومدفعة الرش spray gun كما يظهر فى شكل (٣ - ١٤) .

والروبوتات مزودة بنظام تحكم من النوع المؤازر ذى المسار المتواصل . ويجرى اختزان البرامج الخاصة بطلاء مختلف المنتجات فى وحدة التحكم التى تقع عادة بعيدا عن خلية الطلاء . وعند الرغبة فى برمجة الروبوت للقيام بعملية طلاء على مشغولة جديدة يتم تحويل وحدة التحكم إلى نمط « التعليم » teach mode حيث يقوم عامل ماهر بالأخذ بيد الروبوت الهيكلية (ذراع تعليم يكاد وزنها لا يذكر) للقيام بعملية طلاء تعليمية حيث يتم اختزان جميع الحركات ، بما فى ذلك حركة الضغط



شكل (٣ - ١٤) روبوت صناعى للطلاء بالرش

(١) مدفعة الرش ، (٢) ذراع الروبوت

على زناد مدفعة الرش ، فى ذاكرة وحدة التحكم لحين استرجاعها أثناء عملية التشغيل الفعلية .

وتعتبر صناعة السيارات من الصناعات الرائدة فى استخدام روبوتات الطلاء بالرش ، حيث تستخدم أزواج (كل اثنين معا) من هذه الروبوتات على جانبى خط الإنتاج للقيام برش هياكل السيارات من الناحيتين دون تدخل العامل البشرى .

ولا يعيب استخدام الروبوتات فى هذا المجال سوى الأضرار التى تنتج عن تعطل أحد الروبوتات على طول الخط ، إذ يؤدى هذا فى حالة خطوط الإنتاج المستمرة إلى اضطراب الخط بأكمله والحصول على منتجات معيبة . ويفضل عادة فى حالة حدوث عطل استمرار العملية لنهايتها وعدم القيام بالإصلاح فى موقع العطل ، على أن تعالج العيوب فى نهاية خط الإنتاج . ورغم ذلك ، لا يؤثر هذا العيب فى ميزة استخدام الروبوتات فى عمليات الطلاء بالرش بوجه عام .

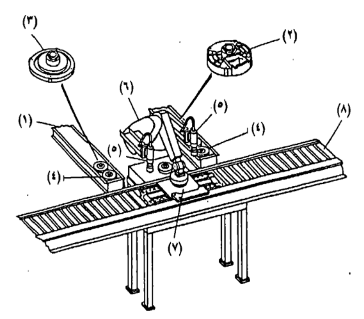
استخدام الروبوتات الصناعية فى أعمال التجميع :

يرجع استخدام الروبوتات فى أعمال التجميع إلى أواسط السبعينيات ، حيث أمكن تطوير أنواع من الروبوتات ذوات الأذرع المفصلية نتيجة للتعاون بين شركتى « يونيماشن » Unimation و « جنرال موتورز » General Motors الأمريكيتين . وقد

أطلق على هذا الروبوت « بوما » PUMA ويتكون اسمه من الأحرف الانجليزية الأولى لعبارة « المكنة العامة المبرمجة الخاصة بالأتمتة » Programmable Universal Machine For Automation . ورغم هذه البداية المبكرة فإن استخدام الروبوتات فى أعمال التجميع قد نما ببطء شديد داخل الولايات المتحدة ذاتها حتى أن عدد الروبوتات المستخدمة فى هذا المجال لم يتجاوز ٤٠ روبوتا فى عام ١٩٨١ . إلا أن السنوات التالية قد شهدت إقبالا كبيرا على روبوتات التجميع بسبب تطوير إمكانات التحكم والاستشعار وحزم البرامج الروبوتية .

وسوف نسوق فيما يلى بعض الأمثلة على استخدام الروبوتات فى أعمال التجميع الصناعى .

قامت إحدى الشركات الأمريكية للصناعات الكهربية بتطوير نظام متكامل تستخدم فيه الروبوتات لتجميع أجزاء منتجاتها . وقد أطلق على هذا النظام « نظام التجميع الموائم القابل للبرمجة » Adaptable Programmable Assembly . وقد جرى استخدام النظام بنجاح فى تجميع « سماعة الهاتف » بالاستعانة بنظم الإبصار الآلى ، التى سبق التعرف عليها فى الفصل الثانى من الكتاب . ويبين شكل (٣ - ١٥) نموذجا لتطبيق النظام السابق ، حيث تظهر محطة تحميل سماعات الهاتف . تصل

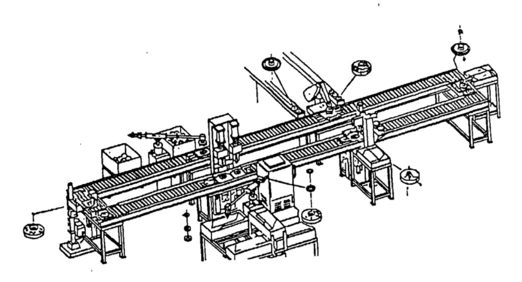


شكل (٣ - ١٥) خط تجميع سماعات الهاتف باستخدام الروبوت

(١) سير ناقل ، (٢) السماعات الأمامية ، (٣) السماعات الخلفية ، (٤) منطقة الالتقاط ، (٥) آلة الإبصار ، (٦) الروبوت ، (٧) السقاطة ، (٨) سير ناقل .

السماعات إلى منطقة التجميع على سير ناقل (١) بحيث يكون جانبها المفتوح إلى أسفل . السير الأول مخصص للسماعات الأمامية (٢) والسير الثانى مخصص للسماعات الخلفية (٣) . تصل السماعات إلى منطقة الالتقاط (٤) فى المحطة ، وتقوم آلة الإبصار (٥) بفحص السماعات للتأكد من جودتها ومن طرازها ثم تحدد اتجاهها ووضعها بالضبط . يقوم الروبوت بالتقاط السماعة ووضعها على « السقاطة » pallet (٧) المخصصة لذلك والموجودة فوق السير الناقل (٨) . تجرى هذه العملية أولا بالنسبة للسماعات الأمامية ثم السماعات الخلفية على الترتيب . كذلك يجرى التخلص من السماعات المرفوضة بوضعها فى صندوق مخصص لذلك . بعد تحميل السقاطة بالكامل ، ترسل إشارة إلى آلية النقل لتشغيل السير إلى المنطقة الحرة .

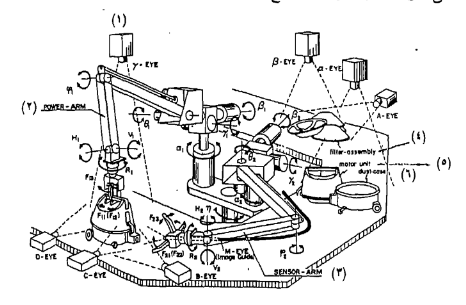
ويبين شكل (٣ - ١٦) منظرا عاما لخط تجميع السماعات باستخدام الروبوتات . وتظهر فيه محطة التحميل وصناديق السماعات المرفوضة وروبوتات التجميع الأخرى .



شكل (٣ - ١٦) منظر عام لمحطة تحميل سماعات الهاتف التى يستخدم فيها روبوت ذو نظام إبصار آلى

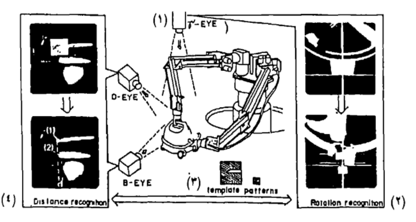
ويظهر فى شكل (٣ - ١٧) مثال آخر على استخدام الروبوتات فى عمليات التجميع ، وهو عبارة عن خلية روبوتية لتجميع المكانس الكهربية . والروبوت المستخدم فى الخلية له ذراعان لكل منهما ثلاثة أصابع بها مستشعرات لمسية للإحساس بقوة الإطباق ، وهو مزود كذلك بعيون صناعية لتحديد وضع واتجاه الأجزاء المتداولة . ويخدم الروبوت حاسوبان أحدهما لمعالجة إشارات الرؤية

الصناعية وجدولة الحركات ، والآخر لمعالجة إشارات المستشعرات اللمسية والتحكم في حركة الذراعين والأصابع .



شكل (٣ - ١٧) خلية روبوتية لتجميع المكانس الكهربية
(١) عين صناعية ، (٢) ذراع القدرة ، (٣) ذراع الاستشعار ، (٤) تجميع الفلتر ، (٥) وحدة الموتور ، (٦) حقيبة الأتربة .

ويبين شكل (٣ - ١٨) نظام الإبصار الآلى ذا الثلاث العيون المستخدم فى التعرف على المسافات والحركات الدورانية والذى يطبق فيه أسلوب التغذية المرتدة لتصحيح وضع الأجزاء أثناء عملية التجميع .



شكل (٣ - ١٨) التعرف البصرى ، وعمليات التغذية المرتدة فى نظام الإبصار الالى ذى العيون الثلاثية المستخدم فى روبوت تجميع المكانس الكهربية .
(١) عين صناعية ، (٢) التعرف على دوران المفصل ، (٣) النموذج الانطباعى ، (٤) التعرف على المسافات .

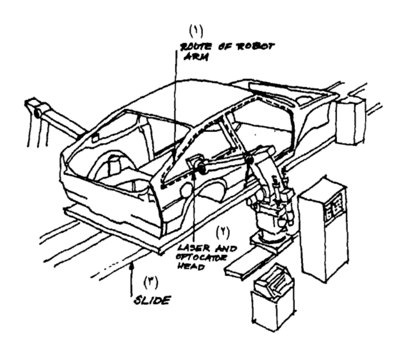
استخدام الروبوتات فى أعمال التفتيش :

تهدف أعمال التفتيش فى الصناعة إلى التحقق من سلامة وجودة المنتجات النهائية أو شبه النهائية . وتتميز غالبية هذه الأعمال بالرتابة ، رغم احتياجها إلى اليقظة وقوة الملاحظة وسرعة الحكم على الشمغولات المعيبة . ولا تسلم هذه الأعمال من حدوث أخطاء فيها فى حالة الاستعانة بالعمالة البشرية . لذلك فهى مجال جيد لاستخدام الروبوتات الصناعية . ويمكن استخدام الروبوتات فى أعمال التفتيش إما لتداول أدوات الاختبار وتوجيهها نحو القطع المراد فحصها ، وإما لتداول القطع نفسها وتعريضها لأجهزة الاختبار المناسبة .

وتتراوح أعمال التفتيش التى تقوم بها الروبوتات بين أعمال بسيطة لا تتعدى وضع بعض القطع على كفة الميزان وتسجيل الوزن ، وبين أعمال فحص واختبار معقدة تجرى باستخدام قياسات الليزر والقياسات الضوئية .

ويجرى استخدام أجهزة القياس غير التلامسية non-contacting measurement instruments بنجاح فى أعمال الفحص الروبوتية ، وخاصة فى صناعة السيارات . وتعتمد فكرة القياس غير التلامسى على تسليط شعاع من الضوء على السطح المراد قياسه على نحو يمكن معه تقدير المسافات بين منبع الضوء والسطح بدقة كبيرة . ويبين شكل (٣ – ١٩) اثنين من الروبوتات يقومان على جانبى منزلق تتحرك عليه هياكل السيارات المراد فحصها . ويمكن برمجة الروبوتين لفحص جميع الهياكل المارة عليهما ، أو الاكتفاء بفحص البعض منها فقط وفقا لترتيب محدد . وفى أثناء الفحص ، يجرى التأكد من أبعاد وعدد الثقوب . ويمكن قياس ١٢ موضعا على كل جانب أثناء حركة الهياكل ٩٠ هيكلا فى الساعة الواحدة ، أى بمعدل (٢ × ١٢ × ٩٠) = ٢١٦٠ موضع قياس (نقطة) فى الساعة . فإذا افترضنا أن كل سيارة تحتوى هياكلها على نحو ٦٠٠ موضع قياس ، فإنه يمكن إجراء عمليات الفحص بمعدل سيارة واحدة كل ١٦ دقيقة .

وكذلك تستخدم الروبوتات المزودة بنظم الإبصار الآلى فى فحص لوحات الحواسيب الشخصية . وتقوم الروبوتات بوضع اللوحات فى وضع مناسب لنظام الرؤية ، ويتطلب الأمر أحيانا تعديل وضع اللوحات لفحص الجوانب غير الظاهرة . وتحتوى لوحات الحواسيب عادة على مجموعة ضخمة من المكونات الإلكترونية المثبتة على لوح من مادة راتينجية . ويصعب على العين البشرية التأكد من ترتيب وعدد المكونات على اللوحة بالسرعة المطلوبة ، على حين يمكن لنظام الإبصار الآلى القيام بعدة عمليات فحص فى الوقت نفسه ، مثل :



شكل (٣ – ١٩) روبوتان يقومان بفحص الفتحات فى هيكل سيارة
(١) مسار ذراع الروبوت ، (٢) رأس المقياس الضوئى ، (٣) المنزلق .

١ – التأكد من أبعاد اللوح ومدى مطابقتها للطراز المطلوب .
٢ – القيام بحصر عدد المكونات المثبتة على اللوح والتأكد من صحة مطابقة الرقم للطراز المطلوب .
٣ – تحديد نوعية كل مكون من المكونات بالتعرف على حدوده الشكلية ، ولونه ، والتأكد من وجوده فى موضعه الصحيح من اللوحة .

كما يمكن استخدام الروبوتات فى تحميل وتفريغ مكنات الاختبار المختلفة ، مثلما يحدث فى حالات استخدام الروبوتات فى عمليات تداول المواد على خطوط الإنتاج . إذ كثيرا ما يجرى دمج أعمال الفحص والتفتيش مع خطوط التصنيع بشكل متكامل حيث يهيىء ذلك وصول مكونات معينة فى محطات التجميع النهائية . وتقوم روبوتات التفتيش بالتقاط المشغولات ووضعها فى المكان الصحيح من جهاز القياس . فإذا تبين توافق المشغولة مع السماح المطلوب ، يقوم الروبوت بوضعها فى المسار الطبيعى لخط الإنتاج ، وإذا تبين عكس ذلك يوجه الروبوت المشغولة إلى صندوق خاص بالمشغولات المعيبة .

وهناك نظام أكثر تقدما تستخدم فيه روبوتات الفحص فى إرسال إشارات تغذية مرتدة إلى مكنات التشكيل لتصحيح عيوب التفاوتات فى أبعاد المشغولات . كذلك

تستخدم بعض روبوتات التفتيش فى إجراء الاختبارات الخاصة بالتأكد من صحة الأداء الوظيفى لبعض المكونات الإلكترونية . إذ تقوم هذه الروبوتات على سبيل المثال بتسليط الجهد المناسب على طرفى ملف مرحل كهربائى coil of electric relay للتأكد من إطباق الملامسات ، أو تقوم باختبار الأداء الوظيفى للوحات الحواسيب ، أو ما أشبه .

ويؤدى استخدام الروبوتات بوجه عام فى أعمال التفتيش والفحص إلى تقليل الوقت المخصص لهذه الأعمال ، مما يزيد من إنتاجية خطوط التصنيع المستمرة ، ويؤدى كذلك إلى تقليل احتمالات الخطأ فى اختبارات الجودة ، مما يقلل من نسبة المنتجات المعيبة التى قد تتسرب إلى الأسواق .

التطبيقات غير الصناعية :

إلى جانب مجالات الصناعة التحويلية المذكورة سابقا ، توجد بعض الاستخدامات الروبوتية المحدودة فى مجالات النشاط الاقتصادى الأخرى ، مثل الزراعة ، وأعمال التشييد ، وتوليد القوى الكهربية ، والرعاية الصحية ، والأعمال المنزلية .

ونظرا لقلة التطبيقات الروبوتية المعاصرة فى تلك المجالات ، لذلك سوف نكتفى فيما يلى بعرض بعض النماذج الروبوتية التى دخلت حديثا فى مرحلة التجربة العملية ، على أن نقدم للقارىء عرضا أكثر تفصيلا عند التحدث عن مستقبل الاستخدامات الروبوتية فى الفصل الرابع – كما سوف نكتفى بما ذكرناه فى مقدمة الكتاب عن استخدامات الروبوتات الشخصية فى الأعمال المنزلية ، حيث مازالت الاستخدامات المعاصرة للروبوتات فى المنازل محدودة للغاية .

استخدام الروبوتات فى الزراعة :

تقدمت الميكنة الزراعية تقدما كبيرا خلال نصف القرن الماضى فى الولايات المتحدة الأمريكية ، إذ تؤكد الإحصاءات أن نحو ٦٤٪ من القوى العاملة فيها كانت تستخدم فى النشاط الزراعى عام ١٩٥٠ مقابل ٣٪ عام ١٩٨٠ . وقد بدأ فى أواسط الثمانينيات اتجاه إلى استخدام الروبوتات فى الزراعة للحفاظ على معدل نمو الإنتاج الزراعى . وقد ظهر هذا الاتجاه واضحا فى مؤتمر الأتمتة الزراعية الأول Agrimation - I Conference الذى عقد فى فبراير ١٩٨٥ وحضره مندوبون عن ١٤ دولة .

وقد جرى تنظيم المؤتمر برعاية جمعية مهندسى التصنيع والجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ، واشتمل على دراسات بارزة عن استخدام الروبوتات فى الزراعة فى الولايات المتحدة الأمريكية وفى اليابان .

وقد حددت الجمعية اليابانية للروبوتات الصناعية Japan Industrial Robot Association أحد عشر تطبيقا لاستخدام الروبوتات فى الزراعة ، نوجزها فيما يلى :

١ - الروبوتات التى تختص بنقل المنتجات الزراعية التالفة من المخازن .
٢ - الروبوتات الخاصة بتداول الأسمدة فى مخازن السماد .
٣ - الروبوتات التى تقوم بنقل مواد الحصاد على المنحدرات وفى الممرات الضيقة خلال الحقول حيث يتعذر استخدام الشاحنات .
٤ - الروبوتات التى تختص بتمهيد التربة وتسميدها فى المزارع وفى الصوبات greenhouses.
٥ - الروبوتات التى تختص بأعمال الحرث واجتثاث الحشائش .
٦ - الروبوتات التى تقوم برش المبيدات ونثر الأسمدة فى المزارع المكشوفة .
٧ - الروبوتات التى تختص بأعمال التعقيم ورش المبيدات فى الصوبات المغلقة .
٨ - الروبوتات التى تقوم بأعمال الحصاد الانتقائية التى يحتاجها جنى البطاطس والكرنب وما أشبه .
٩ - الروبوتات التى تختص بجنى الفواكه من الحدائق والتى تتميز بإمكانات التعرف على الفواكه الناضجة من غيرها .
١٠ - الروبوتات التى يمكنها جنى الطماطم والخيار والثمار الأخرى من الصوبات بعد التأكد من تمام نضجها .
١١ - الروبوتات التى تختص بجنى الجذور المائية من تحت سطح المياه .

وقد أجريت مجموعة من التجارب الناجحة لاستخدام الروبوتات فى أعمال زراعية مختلفة ، نذكر منها :

١ - *استخدام الروبوتات فى جنى التفاح :*

قام « أ. جران دى اسنو A. Grand d'Esnon » المهندس الزراعى الفرنسى من « مونبلييه Montpellier » بتجربة روبوت من تصميمه بنجاح فى جنى التفاح من الحدائق محققا ميزات اقتصادية وتنافسية رائدة ، ناهيك عن تقليل كمية التفاح التالفة . ويتكون الروبوت من ثلاثة أجزاء رئيسية هى :

(أ) ذراع تلسكوبية .

(ب) آلة تصوير تلفزيونية .
(جـ) حاسوب دقيق .

ويمكن للروبوت التعرف على التفاح القابل للجنى بواسطة مستشعر كهرضوئى photo-electric sensor مثبت فى نهاية الذراع التلسكوبية . ويقوم قابض الروبوت بالإطباق على التفاحة الناضجة بعد التعرف عليها ، ثم يعقب ذلك قطف التفاحة حيث تنزلق فى أنبوب مثبت إلى الذراع ينتهى بصندوق جمع المحصول .

٢ – ***تشذيب كرمات العنب Pruning Grapevines*** :

وفى « مونبلييه » أيضا ، قام المهندس الزراعى « فرانسيس سيفيلا » Francis Sevile بتجربة روبوت فى القيام بعملية اجتثاث الأغصان الجافة من كرمة العنب لإتاحة نمو النباتات الجديدة . ويشتمل روبوت فرانسيس على المكونات الآتية :

(أ) ذراع تقطيع cutting arm .
(ب) آلة تصوير تلفزيونية .
(جـ) وحدة تحكم دقيقة .

ويقوم الروبوت بالتقطيع على منسوبين ، أحدهما مرتفع والآخر منخفض ، بدون التعرض لقص الأسلاك التى يتسلق عليها النبات .
وقد أثبتت التجربة الجدوى الاقتصادية والتقنية لاستخدام الروبوت فى المجال المذكور .

٣ – ***زراعة أنواع الفلفل Planting Peppers***

قام المهندسون الزراعيون بجامعة ولاية لويزيانا Louisiana State University بالولايات المتحدة الأمريكية بتصميم مناول روبوتى بسيط لغرس الشتلات الرقيقة الصغيرة لنبات الفلفل . ويتكون الروبوت من الأجزاء الآتية :

(أ) مناول روبوتى .
(ب) حاسوب .
(جـ) وحدة تحكم .

ويمكن للروبوت القيام بغرس شتلة واحدة كل ٧ ثوان بدون أى أخطاء . ورغم أن الإنسان يمكنه القيام بغرس شتلة واحدة كل ٣ ثوان فإن نسبة الخطأ تتزايد بمرور الوقت على مدى يوم العمل .

وقد تم تطوير الروبوت وتزويده بقابض مناسب مع قاعدة تنقل ميكانيكية من الأنواع المتاحة تجاريا واستخدامه فى غرس الفلفل ، إذ يمكنه التقاط الشتلات واحدة واحدة وإسقاطها فى أنبوب توجيه مثبت إلى الذراع . ويجرى الاحتفاظ بالاتجاه الصحيح للشتلة بواسطة لوح توجيه أثناء تغطية الجذور بالتربة باستخدام عجلات ضاغطة مائلة .

٤ - *استخدام الروبوتات فى جز صوف الخراف :*

نظرا للثروة الضخمة من الخراف التى تحظى بها قارة أستراليا والتى تزيد فيها أعداد الخراف على أعداد سكان البلاد ، والمجهود المضنى الذى يحتاجه جز صوف الخراف (وهو عمل يعزف عنه العمال البشريون) فقد قام العلماء والمهندسون بجامعة استراليا الغربية Western Australia University بتصميم وتصنيع روبوت يمكنه القيام بهذا العمل .

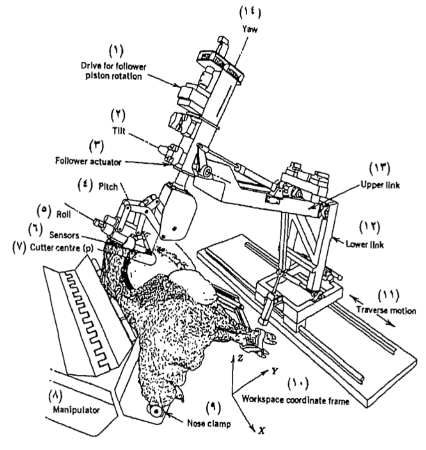
ويحتاج جز صوف الخراف إلى إمكانات روبوتية خاصة تتمثل فى المقدرة على حمل أوزان كبيرة ، واتساع حيز العمل ، والتمتع بنظام تحكم موائم يتميز بالحساسية الشديدة وسرعة الاستجابة .

وتحتاج عملية الجز إلى الاحتفاظ بالنصل القاطع أقرب ما يمكن لجلد الخروف ، مما يستلزم وجود مستشعرات اقتراب proximity sensors ومستشعرات لمسية tactile sensors يمكنها تزويد وحدة التحكم بإشارات تعبر عن حالة موضع الجز فى اللحظة نفسها التى يجرى فيها إعمال النصل فى الصوف . ومما يزيد من صعوبة المهمة ضرورة أن تتم العملية فى مسار متواصل دائم التغير . ويبين شكل (٣ – ٢٠) مكونات الروبوت المستخدم فى جز صوف الخراف .

استخدام الروبوتات فى أعمال البناء والتشييد :

يحقق استخدام الروبوتات فى أعمال البناء والتشييد مزايا اجتماعية واقتصادية من أهمها عدم تعريض العمال للأشغال الخطيرة التى تنطوى عليها عادة الإنشاءات المدنية ، وكذلك إمكان القيام بالمهام التى تتجاوز المقدرة البشرية ، وزيادة معدل إنجاز الأعمال بصفة عامة . وتتميز الروبوتات المستخدمة بالمقدرة على التنقل mobility ، وإمكان التعامل مع القوى والأوزان الثقيلة ، والمقدرة على استشعار وجود الأجسام والعوائق فى البيئة المحيطة بها .

وقد حقق اليابانيون تقدما كبيرا فى مجال استخدام الروبوتات فى أعمال



شكل (٣ - ٢٠) روبوت لقص صوف الخراف

(١) وحدة قيادة خاصة بدوران الكباس التابع ، (٢) آلية الميل ، (٣) مشغل المتابع ، (٤) الخطوة ، (٥) بكرة دوارة ، (٦) مستشعرات ، (٧) مركز النصل ، (٨) مناول ، (٩) ماسك الأنف ، (١٠) إطار المهايأة مع الحيز ، (١١) الحركة المستعرضة ، (١٢) الوصلة السفلية ، (١٣) الوصلة العلوية ، (١٤) الرسغ .

التشييد . ويمكن وفقا للمراجع اليابانية حصر الأعمال الإنشائية التى تقوم بها الروبوتات فيما يلى :

١ - روبوتات إنشاء الهياكل الفولاذية التى تقوم بأعمال اللحام ، والتوصيل بالمسامير .و « بالبرشمة » riveting ، وعمليات طلاء الهياكل ، فى الارتفاعات الشاهقة .
٢ - فك وتجميع الدعامات « السقالات » المستخدمة فى أعمال البناء .
٣ - أعمال دك وتسوية الخرسانة .
٤ - تثبيت ألواح التغطية الداخلية والخارجية فى المبانى المرتفعة .
٥ - أعمال لصق الأرضيات والحوائط.

٦ - أعمال المواسير التى تشتمل على اللحام ، وفحص أنابيب معدات التكييف ، ولف المواد العازلة حول المواسير ، وما أشبه .
٧ - أعمال نقل مواد البناء وتداولها داخل المبانى وخارجها .
٨ - أعمال التشطيبات الداخلية .
٩ - أعمال تقويض المبانى القديمة وتكسير الكتل الخرسانية وإزالة العوائق .
١٠ - أعمال صب الخرسانة فى أساسات المبانى التى تتم أثناء تنقل الروبوت حاملا خرطوم ضخ المواد الخرسانية بين مواقع الصب .
١١ - أعمال تجميع الوحدات الجاهزة والمكونات النمطية من ألواح وكمرات وما أشبه .
١٢ - أعمال إنشاء الأنفاق التى تتم بتجميع الحلقات الفولاذية والخرسانية داخل جسم النفق ، وما يعقب ذلك من أعمال تغطية وعزل وطلاء .
١٣ - أعمال التثقيب ووضع العبوات الناسفة لعمل الإنشاءات النفقية والمنجمية .
١٤ - التفتيش على بقايا المواد الناسفة فى الثقوب والفجوات بعد إجراء عمليات التفجير .
١٥ - أعمال الحفر تحت سطح الماء التى تستلزمها إنشاءات الموانى وقواعد الجسور .
١٦ - استخراج الفحم من واجهات المناجم تحت الأرض .
١٧ - أعمال لحام وفحص خزانات الوقود والغازات المسيلة .
١٨ - أعمال صيانة الهياكل والأبراج القائمة ، وتشتمل على إزالة الصدأ وإعادة الطلاء .
١٩ - روبوتات مد مواسير الصرف الصحى ومواسير المياه فى شبكات المرافق .

وقد استطاع اليابانيون عن طريق إنشاء الشركات المشتركة مع الأمريكيين نقل تقنيات روبوتات البناء إلى الولايات المتحدة الأمريكية ، حيث نجحوا فى ذلك نجاحا كبيرا بعد تنميط منتجاتهم لتلائم المواصفات القياسية لمواد البناء الأمريكية .

وقد أمكن إنتاج روبوتات يمكنها إنشاء المساكن التى يصممها العميل بنفسه ، حيث لاقت قبولا كبيرا بالمقارنة بالمساكن الجاهزة ، بالإضافة إلى ارتفاع الجودة ونقص التكلفة .

وقد أنتجت مؤسسة « كاجيما » .Kajima Corp اليابانية روبوتا يمكنه القيام بعمليات تسوية أسطح الأرضيات الخرسانية نصف المتصلدة . ويجرى تشغيل الروبوتات من هذا النوع فى وقت متأخر من الليل أو فى الصباح الباكر لتسوية

أرضيات الساحات والطرق العلوية وما أشبه . ويتكون الروبوت من عربة متنقلة ، وذراع أفقية مزودة بفرشاة تسوية ، وحاسوب ، ولوح تشغيل ، ووحدة تغذية بالقدرة الكهربية (مولد ديزل) .

وقد عوض استخدام هذه الروبوتات النقص الملحوظ فى العمالة الماهرة اللازمة لإنجاز هذه الأعمال .

وقد أنتجت شركة « شيميزو » Shimizu للإنشاءات روبوتا من طراز SSR-2 يمكنه القيام بنفث « الصوف الصخرى » rock wool والأسمنت المقاوم للحريق على الألواح والهياكل الفولاذية فى المبانى . والروبوت مزود بوحدة تحكم مستقلة على كل ذراع ، ويمكنه التنقل على عربة ذات عجلات مزودة بقوائم إضافية للتثبيت فى موقع العمل ، وذلك بالإضافة إلى وحدة تغذية بالطاقة الكهربية .

وقد أدى استخدام هذا الروبوت إلى إعفاء العمال من العمل فى الأجواء المحملة بالأتربة والكيماويات ، وخاصة داخل المبانى المغلقة .

استخدام الروبوتات فى الرعاية الصحية :

بدأ منذ أوائل السبعينيات استخدام الروبوتات فى مجال الرعاية الصحية فى الولايات المتحدة الأمريكية على وجه الخصوص . ومنذ ذلك الحين ، والتطبيقات الروبوتية فى تزايد مستمر . ومن المتوقع تعاظم شأن الروبوتات فى دور الرعاية الصحية ومعامل التحاليل الطبية والمستشفيات خلال العقد القادم .

وسوف نعرض فيما يلى بعض الأمثلة لاستخدام الروبوتات فى هذا المجال ، وهى مما أورده الأستاذ « دينيس س . بالكون » Prof. Dennis S.Palkon من جامعة أطلنطا بفلوريدا Florida Atlantic University فى دراسة عن استخدام الروبوتات فى المجالات الصحية المختلفة . تتضمن التحاليل الطبية الكثير من الخطوات النمطية المتكررة ، وخاصة فى مجال تجهيز وتحضير العينات . وقد استخدمت مؤسسة « زيمارك » .Zymark Corp الروبوتات فى تجهيز عينات التحاليل الطبية الكيميائية والحيوية . وتعمل الروبوتات فى إطار نظام كامل الأتمتة ، وفيه تتحرك العينات من موضع إلى موضع حول المعمل (المختبر) ، حيث تجرى عليها كافة العمليات أوتوماتيا من تخفيف وتركيز وإذابة وما أشبه .

وتقوم الروبوتات بتداول العينات بين أجهزة التحضير المختلفة ، كما تقوم بإضافة المحاليل ومواد التحليل الأخرى إلى العينات . وتشمل الأعمال التى تجرى

بمساعدة الروبوتات وزن العينات وتخفيفها وخلطها ونقلها إلى أنابيب الاختبار . كما تشمل عمليات المجانسة homogenizing ، وعمليات الفصل بالطرد المركزى centrifuge ، واستخراج العينات للتحاليل الحيوية biological analysis ، وللفحص الطيفى واللونى وما أشبه .

وقد استعانت أيضا مؤسسة « راديان » .Radian Corp بالتقنيات الروبوتية فى معامل التحاليل التابعة لها ، حيث استخدمت روبوتا من طراز IBM 7565 فى إجراء تحاليل الدم النمطية . والروبوت المستخدم مزود بنظام تحكم حاسوبى وبنظام استشعار باللمس . ويمكن للروبوت قياس الأبعاد بدرجة عالية من الدقة . ومن مميزات الروبوت IBM عدم احتياجه لمهارات روبوتية خاصة لاستخدامه بواسطة علماء التحاليل . وقد أمكن باستخدام الروبوتات تخفيض الزمن اللازم لتحليل دم الأطفال حديثى الولادة ، على نحو يكفل عمل مسح شامل للأطفال بمعدل ٣٠٠٠ اختبار فى اليوم الواحد .

وقد استخدمت الروبوتات أيضا فى تقديم بعض المساعدات الحيوية للمقعدين والمعوقين من المحاربين القدماء ، حيث جرى تطوير برنامج خاص للبحوث الروبوتية فى هذا المجال بالتعاون بين جامعة « ستانفورد » Stanford University وبين هيئة المحاربين القدماء (Veterans Administration (VA . وقد استهدفت البحوث قيام الروبوت بتغذية المعوق بأنواع مختلفة من الأطعمة ، وبالتقاط سماعة الهاتف نيابة عنه ، وبإدخال أقراص البرامج فى الحاسوب الدقيق الخاص بالروبوت للقيام بالوظائف المختلفة بناء على الأوامر الصادرة إليه من الشخص المعوق عن طريق شريط يلتف حول الذقن ويحول الأوامر إلى إشارات مورس Morse Code Signals يمكن للروبوت التقاطها .

والروبوت المستخدم عبارة عن مناول صناعى بارتفاع قامة الإنسان العادى ومزود بوحدة صوتية لتلقى الأوامر voice command unit مع وحدة استجابة صوتية تخليقية synthesized voice response unit ، وحزمة برامج جاهزة لنظام تحكم ذى نمط مؤتلف mixed mode hierarchical control يمكنه تشغيل خمسة حواسيب دقيقة مستقلة فى آن واحد . وقد أمكن تدريب المعاقين على استخدام الروبوتات لمساعدتهم فى قضاء احتياجاتهم المعيشية اليومية . وفى « لونج بيتش » بكاليفورنيا Long Beach, Calif. فى الولايات المتحدة أمكن استخدام الروبوتات لمساعدة الجراحين فى « المركز الطبى التذكارى » Memorial Medical Center فى تشخيص وعلاج الأورام المخية . وقد جرت برمجة ذراع روبوتية للوصول بدقة بالغة إلى الموضع الذى

ينبغى فيه غرس الإبرة الطبية لاستخراج عينة من الورم أو لحقن العقاقير فيه ، أو لاستخدام أشعة الليزر للقضاء على أجزاء من الورم . ويساعد استخدام الروبوتات فى الجراحات الدقيقة microsurgery على توفير عنصر الثبات اللازم لمثل هذه الجراحات . وقد قام الدكتور « ديلبر تيسار » Delber Tesar بجامعة فلوريدا بمحاولة ناجحة لترجمة حركة يد الجراح إلى حركات بالغة الدقة والحساسية باستخدام امتداد روبوتى لليد البشرية يمكن للجراح التحكم فيه بواسطة مجموعة من المستشعرات التى تعبر إشاراتها عن المعلومات التفصيلية الخاصة بموضع الجراحة وبحركة الذراع الروبوتية فيه .

وقد طورت الشركة الدولية للروبوتات بمدينة نيويورك International Robotics of NY City روبوتا أطلقت عليه اسم « سيكو » SICO يمكن استخدامه كوسيلة علاجية مع الأطفال المتخلفين عقليا . كما أنتجت شركة روبوتيات القرن الحادى والعشرين بأطلانطا 21 st Century Robotics of Atlanta الروبوت OPDS الذى يمكنه تثقيف طلبة المدارس وتوعيتهم بأضرار الخمر والمخدرات بما يتميز به من مقدرة على إلقاء المحاضرات والدروس ذات الصلة . أما الروبوت Com-Ro - 1 الذى ابتكره « جيروم هاملين » Jerome Hamilin بمدينة نيويورك ، فيمكنه القيام بفتح أبواب حجرات المرضى وجمع صناديق القمامة وتنظيف الأرضيات ورعاية نباتات الظل فى المستشفيات . ويمكن تشغيل الروبوت عن بعد بواسطة الموجات « الراديوية » أو بواسطة لوح الحاسوب الموجود على متنه .

وقد أمكن كذلك تطوير العمل بالصيدليات عن طريق استخدام الروبوتات ، حيث أنتجت شركة « النظم الحاسوبية الدوائية » Com. - Pharm. Systems فى نيويورك روبوتا لمساعدة الصيادلة يطلق عليه ROB-O-TEK . ويمكن للروبوت أن ينتقى أوتوماتيا الأدوية اليومية المحددة لكل مريض وعرضها على الصيدلى للتأكد منها . والروبوت مزود بحاسوب يمكنه تسجيل جميع البيانات المتعلقة بحصر الأدوية المستهلكة ، وتجهيز فاتورة الحساب ، ومراجعة المخزون ، وما إلى ذلك من بيانات تستنفد جزءا كبيرا من وقت ومجهود الصيادلة .

يوضح العرض السابق بجلاء المزايا التى يمكن تحقيقها بالتوسع فى استخدام الروبوتات فى مجالات الرعاية الصحية والتى تتمثل فى رفع عبء الأعمال الروتينية عن عاتق العاملين فى هذا المجال ، مما يزيد من عطائهم فى مجال خبرتهم ، وتقليل احتمالات الأخطاء ، وحماية العاملين فى المختبرات من التعرض للمواد الإشعاعية والمود السامة المستخدمة فى التحليلات الطبية .

استخدام الروبوتات فى محطات توليد الكهرباء :

وقد يبدو للوهلة الأولى عدم الحاجة إلى الروبوت فى مجال توليد الكهرباء بسبب الأتمتة شبه الكاملة لعمليات التوليد واستمرارية إنتاج الكهرباء بما لايستدعى تغيير أنماط العمل ، خاصة أن تغير نمط الإنتاج وتنوعه هما المدخل الأساسى لاستخدام الروبوتات فى مجال من المجالات . إلا أن المجال مفتوح لاستخدام الروبوتات فى العمليات الثانوية المساعدة فى محطات توليد الكهرباء التقليدية ، وهو مفتوح بقدر أكبر لاستخدام الروبوتات فى العمليات الأساسية والثانوية التى تجرى فى محطات توليد الكهرباء بالطاقة النووية بسبب الحرص على تجنيب العمالة البشرية أخطار التعامل مع المواد النووية .

وقد حددت الجمعية اليابانية للروبوتات الصناعية Japan Industrial Robot Association عدة مجالات لاستخدام الروبوتات فى محطات الكهرباء التقليدية ، نذكر منها :

١ - إجراء عمليات الفحص والغسل للعازلات الكهربائية فى الأمكنة المرتفعة .
٢ - إزالة المركبات السليكونية من على العازلات المركبة على خطوط نقل الكهرباء .
٣ - استخدام الروبوتات المتسلقة فى استبدال وصيانة كبلات خطوط نقل الكهرباء .
٤ - توصيل كبلات الضغط المرتفع الأرضية وكبلات الاتصالات .
٥ - أعمال تشييد محطات الكهرباء المائية داخل الأنفاق التى تصل بوابة السد بمحطة الكهرباء .

كما حددت هذه الجمعية اليابانية إمكانات استخدام الروبوتات فى المحطات النووية فيما يلى :

١ - إجراء أعمال الفحص التى تتبع توقف المحطة ، فى المناطق المعرضة للإشعاع ، مثل الكشف على لحامات المواسير وأجزاء المراجل البخارية وما أشبه ، سواء من الداخل أو من الخارج .
٢ - إجراء بعض عمليات الفك البسيطة لبعض الأجزاء وإعادة تركيبها بعد فحصها ، وذلك فى المناطق المعرضة للإشعاع .
٣ - إجراء عمليات إزالة الملوثات بالغسل بالمياه أثناء توقف المحطة .
٤ - قيام روبوتات الدوريات patrol robots بمختلف الأعمال المتعلقة بالفحص الدورى لمعدات المحطة فى ظروف التعرض للإشعاع (فى أثناء تشغيل المحطة) .

٥ - تداول الوقود النووى داخل المحطة .
٦ - تداول النفايات المشعة فى المحطات النووية أو فى محطات معالجة الوقود النووى .
٧ - فك وصيانة الأفران الذرية والإنشاءات الأخرى أثناء التعرض لكميات كثيفة من الإشعاع .
٨ - روبوتات الطوارىء التى تقوم بمختلف الأعمال داخل المحطة فى ظروف التعرض للإشعاع عند حدوث أى أعطال فى نظام الأمان .
٩ - الروبوتات التى تقوم بالإغلاق المحكم لخزائن الوقود النووى المستهلك قبل التخلص منها .
١٠ - استخدام الروبوتات فى استبدال الجدران الداخلية الأولى لغرف البلازما فى الأفران المخصصة لعمليات الانشطار أو الاندماج النووى .

وسوف نلقى الضوء فيما يلى على بعض الاعتبارات والأمثلة الخاصة باستخدام الروبوتات فى المحطات النووية لتوليد الكهرباء ، حيث إن الاستخدامات الأخرى للروبوتات فى محطات التوليد التقليدية قد سبق التعرض لها بشكل أو آخر فى مجال استخدامات الروبوتات الصناعية فى أعمال اللحام والتجميع والتفتيش والتشييد .

ويرجع استخدام الروبوتات فى المحطات النووية إلى بداية الخمسينيات من هذا القرن ، وهو أمر مستغرب إذا أخذنا فى الاعتبار البداية الحقيقية لإنتاج الروبوتات فى بداية السبعينيات . وإن دل ذلك على شىء فإنما يدل على أن « الحاجة هى أم الاختراع » . فقد أملت الظروف الإشعاعية بالغة الخطورة على مصممى المحطات النووية استبدال الروبوتات بالبشر . وقد بدأ استخدام الروبوتات فى صورة مناولات يجرى التحكم فيها عن بعد ، وذلك فى مناطق الخلايا الساخنة hot cells وفى مناطق إعادة معالجة الوقود fuel reprocessing . إلا أن شركة « وستنجهاوس هانفورد » Westinghouse Hanford أمكنها فى سنة ١٩٥٠ تطوير هذه المناولات بوضعها على عربات متحركة وتزويدها بآلات تصوير وبوسائل إضاءة . وقد تآلف الفنيون فى المحطات النووية مع هذا الروبوت إلى درجة أن أطلقوا عليه اسم التدليل « لوى » Louie ، حيث أثبت فعالية كبيرة ومقدرة على التحمل ، ويمكن بحق اعتباره أكبر الروبوتات المعمرة ، إذ مازال مستخدما حتى الآن فى محطات الطاقة النووية .

والذى لاشك فيه أن هناك فروقا جوهرية بين روبونات المحطات النووية وبين الروبوتات الصناعية الأخرى . فبينما استهدف إنتاج الروبوتات الصناعية إحلالها محل البشر فى العمليات الصناعية ، إلى حد جعل مقياس النجاح للروبوت يقدر بعدد

العمالة البشرية التى يتم الاستغناء عنها ، فإن استخدام الروبوتات فى المحطات النووية يستهدف على العكس من ذلك التوسع فى الوجود البشرى وفعاليته داخل المحطة بواسطة الروبوت . وقد يناقض هذا المفهوم بعض الشىء المفاهيم الروبوتية العامة على نحو يمكن أن نطلق معه على الروبوتات التى تعمل فى المحطات النووية « المعدات المتحكم فيها عن بعد » remote-controlled equipment ، وهى ما يحتاجه فعلا العاملون فى هذه المحطات أكثر من احتياجهم للروبوتات التقليدية .

ويؤدى استخدام الروبوتات على وجه العموم فى المحطات النووية إلى زيادة الإتاحية availability ، وهى وقت التشغيل الفعلى للمحطة خلال فترة زمنية معينة ، وذلك بسبب إمكان إجراء عمليات الفحص والصيانة بواسطة الروبوتات دون اللجوء إلى إيقاف المحطة . كما يؤدى استخدام الروبوتات أيضا إلى تخفيض التعرض الإشعاعى المهنى occupational radiation exposure (ORE) للعاملين فى المحطة . وكلا الأمرين يجعل من استخدام الروبوتات فى محطات توليد الكهرباء بالطاقة النووية مشروعا اقتصاديا ناجحا .

إن يوما واحدا من التوقف فى مفاعل نووى قدرته ١٠٠٠ ميجاوات من الكهرباء تصل تكلفته بأسعار ١٩٨٥ إلى ٥٠٠٠٠٠ دولار أمريكى . ويمكن باستخدام الروبوتات تقليل عدد أيام التوقف على مدار العام .

كذلك ، حددت القوانين الفيدرالية فى الولايات المتحدة الأمريكية ، والتى تختص بالعاملين فى المجال النووى ، كمية الإشعاع التى يتعرض لها العامل على مدى ثلاثة أشهر بما لايزيد على ٣ رم وبحد أقصى ٥ رم فى العام (الرم – وحدة للإشعاع المؤين تساوى الكمية التى تحدث الضرر ذاته الذى يحدثه للإنسان مقدار رنتجن Roentgen واحد من الأشعة السينية عالية الفلطية ، وهى مشتقة من الحروف الانجليزية الأولى لعبارة Roentgen Equivalent Man-REM . ويعنى هذا ببساطة ، ضرورة استخدام عدد كبير من العاملين لفترات محدودة ، حيث يوجه العامل إلى وظيفة أخرى بمجرد بلوغه المنسوب الأقصى للتعرض الإشعاعى المهنى ORE .

ووفقا لتقديرات لجنة التشريعات النووية Nuclear Regulatory Commission (NRC) فإن وحدة « الرجل – رم » man-rem تكلف محطة التوليد نحو ١٠٠٠ دولار بأسعار ١٩٨٥ ، بينما يؤكد أصحاب المحطات أن تكلفة هذه الوحدة لاتقل عن ٥٠٠٠ دولار .

وقد أجرى العديد من الدراسات الاقتصادية لتحديد جدوى الاستخدامات الروبوتية فى المحطات النووية بواسطة باحثى مؤسسة « باتيل » Battele Corp.

الأمريكية . وقد استندت الدراسة إلى أرقام متحفظة للغاية (٧٠٠ دولار أمريكى فقط كل وحدة رجل - رم ، ونحو ٣٠٠٠٠٠ دولار أمريكى لكل يوم تعطل) . ورغم ذلك ، فقد أظهرت النتائج أن استخدام الروبوت فى عمليات الصيانة يمكن أن يعوض استثماراته فى غضون عام واحد فقط . ويمكن للروبوت الواحد الذى يقل ثمن شرائه عن ٢٠٠٠٠٠ دولار أمريكى أن يحقق وفرا صافيا تتراوح قيمته بين ١٠٠٠٠٠ و ١٠٠٠٠٠٠ دولار أمريكى فى السنة الواحدة .

وقد أدت كارثة المحطة النووية الأمريكية (Three Mile Island Unit (TMI-2 بسبب تسرب مواد التبريد ، وذلك فى مارس ١٩٧٩ ، إلى تطوير العديد من الروبوتات التى جرى استخدامها لمعالجة آثار الكارثة . فقد تسببت الحادثة فى تدمير غالبية قلب المفاعل reactor core وخلفت وراءها مناطق كبيرة من مبانى المفاعل الملوثة بحيث لا يسمح للبشر بالدخول فيها . ففى أغسطس ١٩٨٢ ، استخدم روبوت على شكل عربة أطلق عليه SISI (الحروف الإنجليزية الأولى من عبارة System In-service Inspection . ويمكن للروبوت تصوير المناطق التى يتجول فيها وتسجيل مستويات الإشعاع فى المناطق المحيطة بالمحطة وفى وحدات معالجة وتنقية المياه الخاصة بها . وقد أتبع ذلك استخدام روبوت آخر ذى ست عجلات ومزود بإمكانات نفث تيار مائى عالى الضغط لتنظيف جدران وأرضية المبانى المساعدة . ويمكن لهذا الروبوت رفع ٦٨ كجم بذراعه الميكانيكية إلى مسافة ١,٨ متر . أما الروبوت « لوى » ، الذى سبق الحديث عنه ، فقد جرى استخدامه فى موقع الكارثة لمتابعة قياس الخصائص الإشعاعية أثناء تنظيف محطة تنقية المياه . وقد تم تزويد الروبوت بآلات تصوير تليفزيونية مضادة للإشعاع حتى يمكنه العمل فى مستويات إشعاعية تصل إلى ٣٠٠٠ راد فى الساعة (الراد RAD هو الوحدة العيارية للجرعة الممتصة ، وهى تساوى ١٠٠ ارج فى الجرام ، وقد حلت محل الرنتجن كوحدة للجرعة) .

وقد استخدم كذلك روبوت من طراز RRV (الأحرف الإنجليزية الأولى من عبارة remote reconnaissance vehicle وتعنى (عربة الاستكشاف عن بعد) فى إزالة الطبقات الخرسانية الملوثة . والروبوت مزود بمكنة لخدش الخرسانة ونظام للسحب يعملان بآليات نيوماتية ، حيث تشغل المكنة فى خدش الطبقات السطحية من أرضية مبنى المفاعل على حين يعمل نظام السحب على جمع المواد المتخلفة عن الخدش .

وقد أعطى استخدام الروبوتات فى تلافى آثار كارثة المفاعل TMI-2 دَفعة

كبيرة لتطوير الروبوتات المستخدمة فى المجال النووى . فقد أنتجت مؤسسة « التنمية الحديثة للموارد » .Advanced Resource Development Corp روبوتا أطلق عليه IRIS (الأحرف الأولى من العبارة الإنجليزية Industrial Remote Inspection System ، وتعنى (النظام الصناعى للفحص عن بعد) . ويتميز الروبوت بمجموعة من الإمكانات المتنوعة التى تتيح له القيام بعمليات الفحص والتفتيش فى الأجواء الخطيرة . والروبوت صغير نسبيا وتجرى تغذيته بالطاقة بواسطة بطاريات كهربية ، وهو مزود كذلك بآلية تنقل ومناولات ومستشعرات سمعية وبصرية وبيئية متقدمة ، بالإضافة إلى نظم اتصال وتحكم حديثة . وينفرد هذا الروبوت بنظام اتصالات لاسلكى عالى التردد يمكنه اختراق الكثير من العوائق مع عدم التأثر بالضوضاء الإلكترونية أو الإشعاعية ، مما يزيد من مجال تحركه مقارنا بالروبوتات الأخرى . كما يتميز بنظام إبصار تليفزيونى ثلاثى الأبعاد مزود بعدسات مقربة ، وهو يتمتع فوق ذلك بقدر من الذكاء الاصطناعى المحدود الذى يمكنه من الرجوع القهقرى متخذا ذات مسار القدوم ، وذلك فى حالة افتقاده لإشارات التحكم المعتادة ، أو فى حالة حدوث تداخل فى الإشارات يؤدى إلى تعطل نظام التحكم .

وقد أنتجت كذلك شركة « أوديتكس » .Odetics, Inc الأمريكية روبوتا أطلق عليه « أودكس » Odex يتميز بخاصية فريدة هى إمكان رفع أوزان تزيد على خمسة أمثال وزنه الذى يبلغ ١٦٨ كجم . إذ لا تزيد مقدرة رفع الأحمال للروبوتات الصناعية المعروفة على واحد على عشرين من وزن الروبوت . ويتحرك الروبوت « أودكس » على ست أرجل لكل منها وحدة المشغل الدقيق microprocessor الخاصة بها ، وهناك سبعة حواسيب تقوم بالتنسيق بين حركات الأرجل . ويمكن للروبوت الدوران ٣٦٠ درجة على ساق واحدة (مثل راقصة الباليه عندما تقوم بحركة البروتة pirouette) ، فى الوقت الذى يتقدم فيه فى أى اتجاه . وكل هذه الإمكانات تساعد الروبوت على اجتياز مختلف العوائق أثناء قيامه بمهامه فى المحطات النووية .

ولقد اقتصرنا فى العرض السابق للاستخدامات الروبوتية المعاصرة على عرض المجالات والنوعيات المختلفة من الروبوتات المستخدمة فيها بقدر ما توافر لدينا من معلومات مرجعية تؤكد استخدام هذه الروبوتات على المستوى التجارى فى وقتنا الحالى ، فيما عدا حالات قليلة عرضنا فيها لبعض النماذج الروبوتية التى تخطت مرحلة التجارب الأولية . ونحيل القارىء إلى القسم الثانى من الفصل الرابع من هذا الكتاب حيث يمكنه أن يتتبع خطوات الاستخدمات الروبوتية فى المستقبل القريب .

الفصل الرابع

مستقبل التقنيات الروبوتية

يصدق على الروبوتات مايصدق على الاختراعات الأخرى التى سبقتها من حيث وجود معارضين ومؤيدين يختلفون فيما بينهم حول أهمية الاختراع وجدواه ، ومنافعه ومضاره ، إلى آخر هذه المباحث التى تشكل القاسم المشترك فى الجدل الذى يدور عادة حول المخترعات الحديثة .

أما إذا تعرض الحديث للمستقبل ، بكل مايحمله هذا المستقبل من تكهنات ، فإن شقة الخلاف تزداد حتى بين أفراد الفريق الواحد سواء كانوا مؤيدين أو معارضين ، إذ تتعدد وجهات النظر بشأن الدرب المحتمل الذى سوف تسلكه التقنيات الروبوتية فى طريقها إلى التطور . فرغم قوة تأثير العوامل التقنية فى تحديد الشكل الذى سوف تكون عليه الروبوتات فى القرن القادم ، فإن كثيرا من المؤثرات الاجتماعية والاقتصادية سوف تتحكم هى أيضا فى صناعة وتسويق الروبوتات فى المدى القريب أو البعيد .

وقد تناولنا فى الفصول السابقة أساسيات ومجالات التطبيق للتقنيات الروبوتية المعاصرة . ولذلك نرى أنه من المناسب عند التعرض لمستقبل هذه التقنيات أن نتناول ذلك أيضا من جانبى الأساسيات التقنية ومجالات التطبيق المحتملة . ولن ندع للخيال أن يشتط بنا على نحو يتحول معه السرد إلى رواية من روايات الخيال العلمى ، إذ سوف تكون التقنيات المعاصرة بكل ماتحمله من مؤشرات تطور واعدة هى نقطة الانطلاق نحو التنبؤات المنتظرة فى عالم الروبوت ، ويضاف إلى ذلك الأبحاث التى تجرى بدأب فى مختلف المجالات ذات الصلة بالروبوتية .

وسوف يتعرض القسم الأول من هذا الفصل إلى الإطار التقنى العام لتطوير الروبوتات فى مجالات الذكاء الاصطناعى ، والمقدرة الاستشعارية ، والحضور عن بعد ، والتصميم الميكانيكى ، والمقدرة على التنقل والترحال ، والقوابض متعددة الأغراض ، والتلاحم مع النظم الأخرى وشبكات المعلومات . حيث إن هذه المجالات هى أكثر ما تجرى بشأنه الأبحاث الروبوتية فى أواخر القرن العشرين .

وتشير المعلومات المتوافرة حاليا بشأن الأبحاث الروبوتية إلى أن المستقبل سوف يشهد كائنا روبوتيا على قدر من الذكاء يستطيع معه أن يتخذ قراراته الخاصة بشأن المستجدات التى تعترض تنفيذه للمهام الموكلة إليه . ولن يتأتى هذا الذكاء بالطبع عن طريق الطفرات الوراثية فى الأجيال الروبوتية الحالية ، وإنما عن طريق البرامج

الحاسوبية الراقية والبيانات المرتدة من البيئة المحيطة . وسوف تنمو كذلك المقدرة الاستشعارية لهذا الكائن على نحو يستطيع معه « الإبصار » بشكل أفضل ، ونعنى بذلك إمكان الرؤية فى الأبعاد الثلاثة ، والاستجابة للكلام البشرى والمؤثرات الصوتية الأخرى ، والإحساس بالموجات الرادارية والإشعاعات ، وشم الروائح ، والتعرف على الأشكال بلمسها ، والإحساس بالقوى والضغوط الخارجية على أطرافه وقوابضه . وسوف يمتلك الكائن الروبوتى القادم قدرا لابأس به من الاستقلال والابتعاد عن مصدر توجيهه ، بما يعرف بالحضور عن بعد ، وسيتمكن عندئذ من جمع البيانات عن البيئة المحيطة ، أى أنه سوف يكون طرفا فعالا ومؤثرا فى نظم المعلومات ولن يكتفى بكونه متلقيا للمعلومة . أما من ناحية الإمكانات الجسمية ، فسوف يكون روبوت القرن القادم أرقى « ميكانيكيا » من أجداده ، حيث يتمتع بأعضاء أخف وزنا وأكثر متانة ، وقد تتعدد أذرعه مثل بعض الآلهة الهندية الأسطورية ، إلا أنه سوف يتمكن عندئذ من التنسيق بين حركاتها على نحو مذهل بواسطة نظم التحكم الراقية . وسوف يمكن أيضا تنميط مكوناته الميكانيكية على نحو يتمكن معه مستخدم الروبوت من تجميعه بإمكانات مختلفة تلائم شتى الأغراض .

والروبوت القادم قادر أيضا على الترحال وتدبير « معاشه » (التغذية بالقدرة) وتوجيه نفسه بما يحمل على متنه من أجهزة ملاحية متقدمة . وسوف تمتلك القبضة الروبوتية إمكانات متعددة الأغراض ، كما سيتيسر للروبوت تغيير هذه الإمكانات ذاتيا بحسب الغرض المطلوب . وأخيرا سوف يصبح روبوت القرن القادم كائنا « اجتماعيا » بشكل أفضل على نحو يمكنه من « التفاهم » والاتصال بالأجهزة والبشر والآليات والروبوتات المحيطة به .

أما القسم الثانى من هذا الفصل فسوف يلقى نظرة على مستقبل التطبيقات الروبوتية من خلال عرض مقارن للمهمات التى يمكن للروبوتات القيام بها حاليا ، والتى يمكن أن تقوم بها فى المستقبل .

ومن المنتظر أن تغزو روبوتات المستقبل بعض المجالات الجديدة ، بالإضافة إلى تكثيف وجودها فى المجالات التقليدية الأخرى . ومن ذلك ، انتشار الروبوتات فى مجال الإنشاءات المدنية ، وتعدين الفحم ، وتوليد الطاقة ، والتطبيقات الحربية ، ومكافحة الحرائق ، والعمل فى أعماق البحار والمحيطات والفضاء الخارجى ، هذا بالإضافة إلى تعاظم دور الروبوتات فى التطبيقات الصناعية ، مثل أعمال التجميع والتفتيش ، وتداول المواد ، ونظم التشغيل .

إلا أن الطفرة المرتقبة سوف تكون بلاشك فى استخدام الروبوتات فى التعليم

والخدمة المنزلية ، ومحلات الوجبات الغذائية السريعة ، وأعمال البنوك ، وجمع القمامة ، وشحن البضائع وتوزيعها ، وأعمال الحراسة ، والرعاية الصحية ، والأشغال الزراعية .

تطور التصميمات الروبوتية :

إدخال عناصر الذكاء الاصطناعى فى الروبوتات :

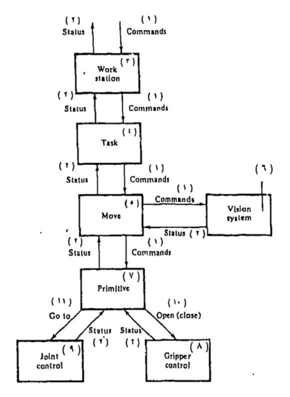
تناولنا فيما سبق « الذكاء الاصطناعى » كأحد المكونات المهمة فى الرأس الروبوتى ، كما تناولناه باعتباره أحد نظم التحكم المتقدمة فى الروبوت . إلا أن مجهودات الذكاء الاصطناعى فى الروبوتات المعاصرة مازالت فى مهدها ، ومازال ميدانها الأساسى الأبحاث والمختبرات . وبالإضافة لما هو معروف من مقدرة الروبوتات الذكية على استشعار البيئة المحيطة واستخدامها لإشارات الاستشعار فى تكييف قراراتها بشأن ما يعترض سبيلها من متغيرات تؤثر على أدائها للمهام المطلوبة منها ، فإن الجديد فى هذا المجال سوف يتمثل فى تصميم نظم تحكم متكاملة تكون فيها الروبوتات الذكية هى الوحدة البنائية . وسوف تعتمد هذه النظم على تحقيق مبدأ « التشغيل بالأهداف » فى إدارة المنشآت الصناعية الضخمة . ويجرى تطبيق هذا المبدأ بشكل هرمى ، حيث يتم التعبير عن الأهداف المطلوب تحقيقها بالمنشأة فى صورة أوامر صادرة من وحدات التحكم فى المستوى الأعلى . ويجرى بعد ذلك تحليل هذه الأوامر بشكل متتابع إلى أوامر أبسط منها فى المستويات الأدنى حتى نصل إلى الخلايا الروبوتية ووحدات التشغيل . ويتم تجزئة الأوامر داخل الخلية إلى أوامر مختصة بالمهام ، ثم بالحركات الأساسية للروبوتات ، ثم بحركات القوابض والمثبتات فى المستوى الأدنى .

ويبين شكل (٤ - ١) تسلسل الأوامر والمعلومات الخاصة بالحالة فى كل مرحلة اعتبارا من وصولها إلى الخلية الروبوتية وحتى إنجاز المهمة المطلوبة .

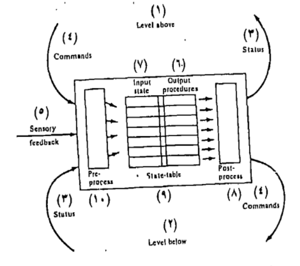
ويكون لكل مستوى من مستويات التحكم فى النظام الهرمى وظائفه التحكمية المحدودة والمعروفة والتى تعتمد على عدد محدد من إشارات الدخل والخرج . ويقوم بهذه الوظائف وحدة أو أكثر من وحدات التحكم control module . وتكون هذه الوحدات متماثلة فى الهيئة أيا ما كان مستوى التحكم الذى تشغله فى النظام الهرمى .

ويبين شكل (٤ - ٢) نموذجا لشكل وحدة التحكم المذكورة .

يقوم جزء الإدخال فى الوحدة باستقبال المعلومات عن الحالة ، الصادرة من



شكل (٤ - ١) تدفق الأوامر والمعلومات داخل الخلية الروبوتية فى نظم التحكم المتكاملة التى تعتمد على الروبوتات الذكية .
(١) الأوامر ، (٢) الحالات ، (٣) الخلية الروبوتية ، (٤) المهمة ، (٥) الحركة ، (٦) نظام الإبصار ، (٧) الأوليات (القوابض والأطراف) ، (٨) التحكم فى القوابض ، (٩) التحكم فى الوصلة ، (١٠) فتح (إغلاق) ، (١١) اذهب إلى .



شكل (٤ - ٢) هيئة وحدة التحكم فى النظام الهرمى
(١) المستوى الأعلى ، (٢) المستوى الأدنى ، (٣) الحالات ، (٤) الأوامر ، (٥) الاستشعار المرتد ، (٦) خطوات الخرج ، (٧) حالة الإدخال ، (٨) بعد العملية ، (٩) جدول الحالة ، (١٠) قبل العملية .

المستشعرات ومن وحدة التحكم فى المستوى الأدنى ، كما يستقبل الأوامر الصادرة إليه من الوحدة ذات المستوى الأعلى . وتقوم وحدة التحكم بمعالجة بياناتها المدخلة ، كما تقوم بدمجها وتحويلها إلى الصورة المناسبة للمعالجة المطلوبة فى هذا المستوى . وتجرى المعالجة باستخدام جدول الحالة الذى يشتمل على قائمة بالخطوات الخارجة التى تحددت على أساس البيانات الداخلة . وتستخدم المعالجة اللاحقة postprocess لتحويل الخطوات الخارجة وما يتبعها من بيانات فى جدول الحالة إلى الصورة المناسبة للمكونات الواقعة خارج وحدة التحكم . ومن المحتمل أن تكون هذه المكونات مشتملة كذلك على أكثر من مستوى تحكم ، أو أكثر من قطعة معدات من التى تتحكم فيها الوحدة .

ابتكار المستشعرات فائقة القدرة :

تعرضنا فى الفصل الثانى لأهم أنواع المستشعرات المستخدمة فى الروبوتات المعاصرة . ومن المتوقع لروبوت الغد أن يزداد عدد مستشعراته وأن تتحسن مقدرتها عما نراه حاليا . لأن إنتاج الروبوت « الذكى » لن يكون ممكنا مع « جسم » متبلد الإحساس . وسوف تمكن مستشعر المستقبل الروبوت من أن « يدرك » بدرجة أفضل بكثير العالم المحيط به . ومن المعتقد أن يكون الإبصار الآلى ثلاثى الأبعاد ، والاستشعار اللمسى ، هما الميدانين اللذين سوف يشهدان أكثر الإبداعات فى مجال الاستشعار .

الإبصار ثلاثى الأبعاد :

وهو ممكن التحقيق من الناحية التقنية ، حيث أمكن لشركة « نظم الرؤية الروبوتية » Robotic Vision Systems بالولايات المتحدة تصنيع بضعة نماذج منه ، إلا أنه لم يتح استخدام هذه النماذج على أساس تسويقى واقتصادى إلا فى عدد ضئيل من المواقع الصناعية . ومن المتوقع إنتاج نظم إبصار آلى ذات بعد ثالث ودرجة وضوح عالية بثمن معقول فى المستقبل . وسوف تقدم هذه النظم فائدة جليلة للصناعة الروبوتية ، إذ سوف يتمكن الروبوت بواسطتها من تقدير المسافات بينه وبين الأهداف المحيطة ، وذلك باستعمال تقنيات « تحديد المدى » range-finding techniques ، كذلك سوف يمكنه تجنب الاصطدام بالعوائق التى تعترض سبيله بشكل أفضل مما يستطيعه الآن . ويضاف إلى ذلك ، حصول الروبوت على صورة جيدة التفاصيل ، مما ييسر له التعرف على الأسطح والأشكال بدرجة أفضل بكثير .

وسوف تكون نظم الإبصار الآلى ثلاثى الأبعاد ذات فائدة كبيرة أيضا فى مجال

الأمن الصناعى داخل الخلايا الروبوتية . إذ يمكن بواسطتها استشعار وجود الإنسان فى نطاق عمل الروبوت بدرجة عالية من الدقة على نحو يستحيل معه حدوث اصطدام بين الروبوت وبين البشر القائمين على تشغيله أو صيانته .

وأخيرا ، فإن الآمال معلقة حاليا على إنتاج « مشغلات دقيقة عالية السرعة » high-speed microprocessors ، حيث تتوقف عليها زيادة الفاعلية التقنية والاقتصادية لنظم الإبصار الآلى ثلاثى الأبعاد .

الاستشعار اللمسى :

ما زالت المستشعرات اللمسية المعاصرة بدائية وقليلة الفاعلية إذا ما قورنت بمقدرة اليد البشرية على الاستشعار اللمسى . فهناك العديد من « الإحساسات » التى حرمت منها اليد الروبوتية والتى تشكل فى الوقت ذاته أهمية كبيرة فى التعرف على خصائص الأجسام المتداولة . من ذلك ، الإحساس بخشونة السطح الملموس ، ودرجة مرونة المواد ، وثقل الجسم المحمول وشكله ، وما أشبه .

ويعمل اليابانيون بصورة خاصة على تطوير المستشعرات اللمسية فى اتجاهات ثلاثة :

١ - *استشعار القص* *Shear sensing* :

ويعنى ذلك مقدرة اليد الروبوتية على الإحساس بالانزلاق slip بين الجسم وبين سطح الأصابع . وسوف تساعد المستشعرات التى من هذا النوع على تداول الروبوت لأجسام ذات طبيعة مختلفة منها الخشن ومنها شديد الملاسة ، مثل المنسوجات الحريرية وما أشبه . إذ سيتوقف إحكام الروبوت لقبضته على الأجسام على إشارات « مستشعرات القص » التى « تشعره » بحالة انزلاق الجسم بين الأصابع . ويمكن أيضا بواسطة هذه المستشعرات أن يتعرف الروبوت على درجة ملاسة السطح بمقابلتها بإشارات الانزلاق من خلال تدريج مختزن فى ذاكرته .

٢ - *استشعار التلامس* *Contact sensing* :

يجرى حاليا البحث فى تطوير مستشعرات من النوع « متعدد الحشوات التلامسية » multiple contact pads التى يمكنها نقل صورة دقيقة عن توزيع قوى التلامس من خلال مصفوفة كبيرة العدد من المستشعرات . ويمكن للروبوت أن يعيد تكييف وضع الإطباق على الجسم من خلال مقارنته لصورة

التوزيع الفعلى لقوى التلامس بصورة أخرى نمطية داخل ذاكرته . وسوف يتمكن الروبوت بالإضافة إلى هذا ، من التعرف على شكل الجسم وحدوده بمجرد الإطباق عليه .

٣ - *استشعار القوى Force sensing* :

يجرى البحث أيضا فى تطوير مستشعرات يمكنها « إدراك » الانفعال المرن elastic strain الذى يحدث فى الأجسام الجارى تداولها بفعل قوى الإطباق . ويمكن باستخدام مستشعرات من هذا النوع التحكم فى توزيع قوى الإطباق على الأجسام بدقة بالغة . كما يمكن استخدام هذه المستشعرات أيضا فى التعرف على طبيعة الأجسام المتداولة من حيث المرونة .

ازدواجية التحكم الذاتى والتحكم البشرى عن بعد :

ليس جديدا استخدام التحكم عن بعد remote control فى توجيه الآليات والروبوتات للقيام بأعمال تداول المواد فى البيئات الخطيرة ، مثل تداول المواد المشعة فى المحطات النووية ، وفى أعمال التعدين ، وما أشبه . وقد أظهرت الخبرة العملية ضعف فاعلية التحكم عن بعد ، وحده ، فى إنجاز المهام المعقدة بواسطة الروبوتات . كذلك ، من غير الممكن ، أخذا فى الاعتبار إمكانات الذكاء الاصطناعى المحدودة للروبوت ، الاعتماد على التحكم الذاتى للروبوت فى التغلب على المشكلات التى تعترض سبيله . إذ من غير المنتظر الاستغناء عن الذكاء البشرى بشكل مطلق فى توجيه الروبوتات .

والحل قد يأتى به المستقبل ، فى صورة نظام مزدوج للتحكم الذاتى (من داخل الروبوت ، بحسب إمكانات ذكائه) والتحكم البشرى عن بعد (باستخدام طاقات الذكاء البشرى) ، لفتح آفاق جديدة للعمل الروبوتى .

وقد يبدو الأمر يسيرا للوهلة الأولى ، مادام نظاما التحكم المطلوب المزاوجة بينهما قد قطع كل منهما شوطا لا بأس به فى التقدم التقنى ، إلا أن الحقيقة خلاف ذلك . إذ تتطلب هذه المزاوجة تطوير الروبوتات الحالية لتعمل بقناتى اتصال فى آن واحد . ويعنى هذا ببساطة أن الروبوت سوف يتلقى مجموعة من الأوامر المعقدة (القناة الأولى) ، مصدرها الإنسان الذى يجلس بعيدا ليستقبل المعلومات التى يرسلها إليه الروبوت (القناة الثانية) عن طريق مستشعراته البيئية . وسوف يلقى ذلك بالأعباء الآتية على الروبوت :

١ – القيام بجمع البيانات عن البيئة المحيطة باستخدام مستشعرات بالغة التقدم ، ثم إعادة إرسال هذه البيانات إلى موقع التحكم عن بعد فى صورة يسهل معها على الإنسان إدراكها . أى أنه سوف ينبغى للروبوت إعادة صياغة البيانات من خلال برامج محاكاة لوظائف الاستشعار البشرية . وقد يتطلب الأمر كذلك استخدام الروبوت لمهاراته فى إعطاء نتائج تتسم بالمنطق عن موقعه وعن حالته .

٢ – ينبغى تزويد الروبوت بإمكانات « تخليق مقاطع الحديث » والبرمجة الصوتية ، وذلك لتسهيل مرور المعلومات واستقبال الأوامر فى قناتى الاتصال . إذ أن الاتصال الصوتى هو أنسب طرق الاتصال وأيسرها بالنسبة للإنسان . وقد عرضنا فى الفصل الثانى مايكتنف برامج التعرف على الأصوات من صعوبات .

٣ – حل التعارض بين الأوامر الذاتية التى يفرزها نظام الذكاء الاصطناعى للروبوت وبين الأوامر الصادرة إليه من الإنسان ، وذلك باستخدام برامج « حوار » متقدمة .

تطور التصميم الميكانيكى للروبوت :

يمكن تلخيص مناحى التصميم الميكانيكى التى سوف تشهد تطورا كبيرا فى المستقبل القريب فيما يلى :

١ – *تصميم الروبوت ذى القيادة المباشرة Direct-drive robot*

عرضنا فى الفصل الثانى للصعوبات التى تحد من الدقة الحركية للروبوت رغم ما توافر له من إمكانات تحكم أوتوماتى متقدم ، والتى ترجع فى المقام الأول إلى عيوب فى الأداء الميكانيكى مردها إلى « الارتدادات » (البوش) ***backlashes*** و « المطاوعة » compliance . ومن الطرق المبشرة لتلافى هذه العيوب أو للحد منها ، توصيل آلية القيادة بالمفصل الروبوتى مباشرة ، أى دون وسيط ميكانيكى لنقل الحركة بينهما .

وتوجد فوائد جانبية كثيرة للتوصيل المباشر خلاف ماذكرناه . ومن ذلك ، تحسين الاستفادة من الطاقة المتاحة بتقليل الفقد الميكانيكى فى نظم التوصيل الوسيطة . وإمكان قيادة المفصل فى الاتجاه الآخر ، مما يسمح بتزويد المفصل بمستشعر للقوى يقيس مدى الحركة عند كل وصلة . وتقليل أعمال الصيانة

نتيجة لاختزال عدد المكونات الميكانيكية ، وأخيرا تقليل تكلفة الروبوت لنفس السبب السابق .

وقد ينشأ تساؤل : لماذا لم تستخدم الروبوتات المعاصرة نظم القيادة المباشرة رغم مزاياها الجمة ؟ تحتاج الإجابة لبعض الإيضاح . فمن المعروف أن الروبوتات تتداول عادة مختلف الأجسام التى تؤثر أوزانها على « المفاصل » الروبوتية فى اتجاه ثابت هو اتجاه الجاذبية الأرضية رأسيا ولأسفل . ويؤدى عدم وجود نظام ميكانيكى وسيط لنقل الحركة بين « الموتور » وبين الوصلة (المفصل) إلى ضرورة مضاعفة العزم اللازم للحفاظ على تعليق الحمل فى الوصلة أثناء توقف الموتور (عزم الكبح) . وبعبارة أخرى ، ضرورة مرور تيار كهربى كبير فى « ملفات » الموتور .
ويؤدى ذلك ، خاصة فى حالة الموتورات الصغيرة ، إلى زيادة سخونة الموتور واحتراق « الملفات » . ففى موتورات التيار المستمر direct current motors ، تتناسب القدرة مع مربع التيار ، على حين تتناسب درجة حرارة الملفات مع القدرة .

أما إذا فكر المصمم فى استخدام موتورات أكبر حجما لمقاومة السخونة الزائدة ، فسوف يؤدى هذا إلى صعوبة تركيب موتور عند كل « مفصل » مع الاحتفاظ بوزن مناسب للروبوت .

وهناك مدخلان للتغلب على مشكلات القيادة المباشرة ، أولهما ، إعادة تصميم الذراع الروبوتية على نحو توجه فيه الوصلة فى الاتجاه الذى لايحتاج فيه الموتور إلى الاحتفاظ بالحمل ضد اتجاه الجاذبية . ويكون من المطلوب فقط فى هذه الحالة التغلب على مقاومات الاحتكاك فى الوصلات وتعجيل الحركات أو تبطيئها ، مما لا يستلزم قدرة كبيرة . ويمكن أيضا الاستفادة من فترات السكون (الراحة) فى تبريد الموتور بين الحركات .

وقد بدا هذا الاتجاه واضحا فى تصميم روبوتات « سكارا » SCARA التى روعى فيها توجيه محاور الوصلات رأسيا على نحو يجرى فيه إسناد الحمل على هيكل الوصلة بدلا من محور الدوران .

وثانى هذه المداخل ، الذى يتيسر معه استخدام القيادة المباشرة ، تطوير صناعة المواد التى تدخل فى بناء الموتورات على نحو يمكن معه توليد شدة مغنطيسية كبيرة لنفس قيمة التيار مقارنة بالمواد التقليدية . ومن المواد الواعدة فى هذا الاتجاه سبيكة « السمريوم - كوبالت » samarium-cobalt alloy وسبيكة

« النيوديніوم – حديد » neodynium-iron alloy ، وهما من المواد المغنطيسية التى يدخل فى تركيبها العناصر الأرضية النادرة .

٢ – *التنسيق بين الأطراف المتعددة* *Multiple end coordination* :

تحتاج عمليات التجميع إلى الاستفادة من أكثر من ذراعين فى آن واحد ، كما تحتاج الروبوتات « المشّاءة » إلى أكثر من قدمين للتغلب على العوائق وتسلقها . وفى جميع الأحوال ، لابد من تمتع الروبوت متعدد الأذرع (أو الأرجل) بدرجة عالية من التنسيق بين أطرافه للحفاظ على توازنه وسلامته .

لا يوجد فى الوقت الحاضر غير بعض الإمكانات المتواضعة للتنسيق بين حركة طرفين من الأطراف باستخدام « أقفال داخلية » interlocks . فعلى سبيل المثال ، لايوجد حتى الآن روبوت له ذراعان يمكنه استخدامهما والتنسيق بين تحركاتهما لإيلاج « الخيط » فى « سم الخياط » (ثقب الإبرة) .

وقد تكون الصورة المعاصرة الوحيدة لهذا النوع من الإمكانات هو قيام الروبوت « بالتنسيق » بين معطيات نظام الإبصار الآلى وبين رد فعله لالتقاط المشغولات من على سير ناقل متحرك . وتعتبر هذه الحالة ، التى لاقت حتى الآن نجاحا محدودا ، بسيطة إذا ما قورنت بالتنسيق بين ذراعين روبوتيتين .

ويحتاج التنسيق بين الأطراف إلى وحدة تحكم بالغة السرعة يمكنها أن تحدد بدقة عالية ، وبسرعة كبيرة أيضا ، الموضع الحالى والموضع المرتقب لجميع الأطراف ، ومعالجة هذه المعطيات لإصدار الأوامر التى تحدد الحركة التالية لكل منها .

التنقل والترحال Mobility and Navigation

يغلب على الروبوتات المعاصرة ارتباطها بموقع وحيد . وعلى النقيض من ذلك ، لاتكاد حركة المواد والأفراد تتوقف عبر خطوط الإنتاج فى المواقع الصناعية الفعلية .

والذى لاشك فيه ، أن تزويد الروبوتات بالمقدرة على التنقل والترحال من موقع إلى آخر سوف يعتبر إضافة ذات قيمة كبيرة فى مجال الاستخدامات الروبوتية . ومن الممكن تصور التغيير الذى سوف يعقب استخدام الروبوتات المتنقلة فى المصانع . إذ يمكن عندئذ رؤية الروبوتات ذاتية التحرك وهى تحمل المواد

والبضائع الجاهزة من موضع إلى آخر ، على حين تقوم مجموعة أخرى من الروبوتات بمزاولة بعض العمليات الصناعية أو بعض أعمال الصيانة أو التفتيش على مجموعات متراصة من المعدات أو المشغولات . أما خارج المصانع ، فالمجال مفتوح أمام الروبوتات الرحالة فى أعمال التشييد ، وتنظيف الأرضيات ومزاولة النشاطات الزراعية فى الحقول ، والسعى فى أروقة المستشفيات لتقديم الخدمات الطبية الروتينية ، وما إلى ذلك .

ومن المنتظر أن يعتمد روبوت المستقبل فى تنقله إما على العجلات وإما على الأرجل المشاءة . وسوف نتعرض فيما يلى وبشىء من التفصيل لكل من هذين الأسلوبين .

الروبوتات ذوات العجلات *Wheeled Robots*

تُعتبر المركبات المُوجَّهة أوتوماتيا (automated guided vehicles (AGV من أحدث ما يستخدم حاليا فى عمليات النقل الصناعى . وهى عبارة عن عربة ذات ثلاث أو أربع عجلات تستمد طاقتها من بطارية كهربية ، ويمكنها اتباع مسار دائرى محدد على أرضية المصنع أو المخزن الذى تقوم بالخدمة فيه . وتتعرف العربة على المسار بواسطة مستشعرات يمكنها « الإحساس » بوجود سلك أرضى - مطمور تحت الأرضية مباشرة - يُمثل شكل المسار المطلوب . وقد يستخدم فى بعض النماذج الأكثر تقدما نظام للاتصالات على ترددات راديوية ، ينقل إلى المركبة تعليمات بالسير أو بالتوقف أو بتغيير المسار .

وتجرى الأبحاث حاليا لتزويد هذه المركبات بمناولات روبوتية ، وبهذا يمكن للمركبات القيام بأعمال شحن وتفريغ المكنات فى خلايا التشغيل . ويمكن النظر لهذه الأبحاث باعتبارها إرهاصا بإنتاج خلايا روبوتية متنقلة على عجلات فى المستقبل القريب .

أما إذا أريد لهذه الروبوتات التنقل فى أجواء خارجية غير خاضعة للسيطرة المباشرة ، فيجب تزويدها بنظام مستقل للملاحة دون الاعتماد على كبلات أرضية أو علوية أو ما أشبه . ويحتاج هذا القدر من الاستقلال إلى بعض وظائف الذكاء الاصطناعى ، مثل « تحليل المشاهد » scene analysis (كما فى حالة نظم الإبصار الآلى) ، و « تخطيط المسارات » trajectory planning (المقدرة على تخطيط مسارات بديلة من نقطة البدء إلى نقطة الوصول ثم انتقاء المسار الأفضل من بينها) ، و « تجنب العوائق » obstacle avoidance (المقدرة على وضع خطط للمناورة تشتمل على الدوران حول العائق ثم العودة إلى المسار الأصلى) .

ومن المنتظر أن تحتاج الروبوتات إلى أنواع متقدمة من المستشعرات لمعاونتها فى أداء الوظائف السابقة . ورغم نجاح « جامعة ستانفورد » Stanford University و « جامعة كارنيجى – ميلون » Carnegie - Mellon University بالولايات المتحدة فى عرض نموذج لعربة تمتلك مقدرة تحليل المشاهد والدوران حول العوائق ، فإن هذه العربة « الاستعراضية » تحتاج إلى وقت طويل جدا حتى يمكنها التحرك لبضع أقدام .

الروبوتات المشاءة Walking Robots :

من عيوب الروبوتات ذوات العجلات عدم مقدرتها على التنقل إلا على الأسطح الممهدة . ولذلك ، ابتكرت الروبوتات المشاءة (التى يمكنها المشى على أرجل متعددة) ليمكنها التحرك فوق مختلف العوائق ، أو حتى تسلق بعض الأهداف التى تعترض سبيلها . وقد عرضنا فى الفصل الثانى نموذجا لساق صناعية مزدوة بإمكانات حركية من النوع المستخدم فى هذه الروبوتات .

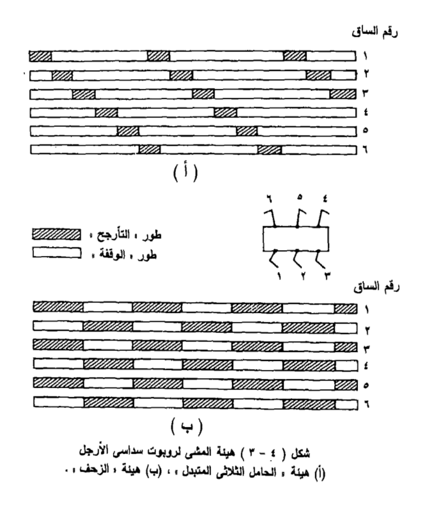
ويواجه إنتاج الروبوتات المشاءة فى المستقبل نفس صعوبات الملاحة الذاتية التى سوف تواجهها الروبوتات ذوات العجلات ، هذا بالإضافة إلى صعوبة التنسيق بين حركات الأرجل الصناعية .

وينبغى لمصممى الروبوتات المشاءة فى المستقبل مراعاة مجموعة من العوامل التى لم يتعرض لها مصممو الروبوتات المعاصرة . ومن ذلك ، تحديد عدد الأرجل المطلوبة للروبوتات ، واختيار هيئة المشى ، وتحقيق اتزان الروبوتات فى جميع الأوضاع ، وأخيرا التنسيق بين حركات الأرجل .

وتجرى البحوث حاليا على روبوتات مفردة وثنائية ورباعية وسداسية الأرجل .

وفى الواقع ، لا توجد صعوبة متعلقة بالتنسيق فى حالة الروبوت ذى الساق الواحدة ، إلا أن الصعوبة سوف تكمن فى تحقيق الاتزان لروبوت مفرد الساق . ويُقصد « بهيئة المشى » gait of walking التتابع الذى تعمل طبقا له أرجل الروبوت أثناء التنقل . وتعنى على وجه العموم ، المدة الزمنية التى تقضيها الساق فى كل من طورى « الوقفة » stance و « التأرجح » swing ، بالنسبة للأرجل الأخرى . وفى طور « الوقفة » ، ترتكز الساق على الأرض إما لحمل الجسم أو لإعطائه دفعة حركية . أما فى طور « التأرجح » ، فتكون الساق فى الهواء تمهيدا للوقفة التالية .

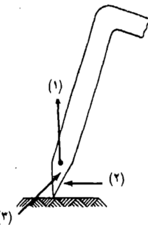
وتتمايز هيئات المشى فيما بينها بخاصية « الثبات » stability . ويمكن ، على سبيل المثال ، لروبوت ذى ست أرجل أن يتنقل بهيئتين للمشى ، كما فى شكل (٤ - ٣) . تسمى الهيئة الأولى منهما هيئة « الحامل الثُلاثى المُتَبَدِّل » alternating tripod gait ، وفيها تتحرك الأزواج الثلاثة من الأرجل تبادليا بين طورى « الوقفة » و « التأرجح » . وبذلك توجد فى أية لحظة زمنية ثلاث أرجل فى وضع الارتكاز على الأرض ، مما يعطى ثباتا للروبوت . وتُسمى الهيئة الثانية « هيئة الزحف » crawl gait ، وفيها توجد ساق واحدة فقط فى الهواء فى أية لحظة زمنية .



شكل (٤ - ٣) هيئة المشى لروبوت سداسى الأرجل
(أ) هيئة « الحامل الثلاثى المتبدل » ، (ب) هيئة « الزحف » .

وتؤثر على الساق فى طور « الوقفة » القوى التى يولدها تحرك الروبوت بواسطة الأرجل الأخرى ، بالإضافة إلى مُرَكّبة وزن الروبوت على الساق ، والقوى اللازمة لدفع الساق فى اتجاه المسار المطلوب .

ويواجه مصممو الروبوتات المشاءة ذوات الأرجل تحديًا كبيرا يتمثل فى



شكل (٤ - ٤) رسم تخطيطى يوضح القوى المؤثرة على ساق روبوت سداسى الأرجل .
(١) رد فعل وزن الروبوت ، (٢) القوى الناتجة عن الدفع الأمامى ، (٣) القوة اللازمة للتحرك فى المسار المطلوب .

التغلب على مشكلة استشعار القوى (خاصة فى قدم الروبوت) ، والتنسيق بين حركات الأرجل ، والاتزان ، والملاحة الذاتية ، وتجنب العوائق ، والمهام الأخرى المطلوب من الروبوت القيام بها أثناء تحركه . ولعل المستقبل القريب يجد حلولا لكل هذه المشكلات .

اليد متعددة الأغراض Universal Hand :

اليد البشرية هى بالقطع المثل الأعلى الذى يحاول مصممو الروبوتات الاقتراب منه لتحقيق التقدم المنشود فى تطوير الإمكانات الروبوتية . وهناك حتى الآن اختلافات جوهرية بين اليد التى نشاهدها حاليا فى الروبوتات المعاصرة وبين اليد البشرية . أول هذه الاختلافات أن اليد البشرية متعددة الأغراض ، فهى تستخدم فى الكتابة ، وفى قيادة المركبات ، وفى مزاولة مختلف الأعمال المهنية ، وفى الألعاب الرياضية ، وفى أشياء أخرى كثيرة يصعب حصرها . بينما يقتصر استخدام الروبوت ليده الصناعية فى حمل أداة تشغيل معروفة الشكل ، أو التقاط ووضع بعض الأجسام ذات الهيئة الخاصة ، أو ما أشبه . ومن النادر أن يجمع الروبوت المعاصر بين أكثر من إمكانية أو وظيفة فى اليد الواحدة .

وثانى هذه الاختلافات ، ما تتمتع به اليد البشرية من مقدرة التمييز بين الساخن والبارد ، وبين الرطب واليابس ، وبين الخشن والأملس ، وبين الثقيل والخفيف ، وبين اللزج وغير اللزج ، وبين المرن elastic واللدن plastic ، وما إلى ذلك .

ويحاول مصممو الروبوتات المعاصرة جاهدين إكساب اليد الروبوتية بعض إمكانات التعرف على الأشكال والإحساس بقوى التلامس مع الأجسام الأخرى .

وثالث هذه الاختلافات ، هو سرعة الاستجابة لمعطيات الحواس الأخرى ، مثل السمع والبصر والشم والذوق . فى الوقت الذى تحتاج فيه الروبوتات المعاصرة إلى وقت طويل نسبيا للاستجابة إلى عدد ضئيل من معطيات المستشعرات الروبوتية الأخرى .

ورابعا ، وليس آخرا ، هذا الإبداع التشريحى لليد البشرية الذى يعطيها مرونة وسلاسة ودقة فى الحركة جنبا إلى جنب مع قوة التحمل ومتانة الأداء .

وقد تناولنا فى الفصل الثانى بعض الإمكانات المعاصرة للقوابض الروبوتية ، إلا أن البحث يجرى على قدم وساق لزيادة إمكانات اليد الروبوتية ، ومن ذلك ما يجرى فى معهد ماساشوستس التقنى Massachusetts Institute of Technology بالولايات المتحدة الأمريكية من تصميم نموذج ليد روبوتية مزودة بمستشعرات لمسية ومستشعرات تحديد الوضع . ويجرى التحكم فى حركة الأصابع باستخدام نظام للتحكم المؤازر الذى يعمل بالإشارات المرتدة من مستشعرات اليد . وقد تمت تجربة النموذج حيث نجح فى التفرقة بين الإطباق على كوب واحد من الورق وبين الإطباق على كوبين فى آن واحد . وقد أمكنه ذلك ، عن طريق اختزانه للمعلومات الخاصة بالعلاقة بين قوى الإطباق وبين التشوه المرن فى الأجسام التى يتعامل معها . ويعتبر هذا النجاح خطوة لا بأس بها فى طريق تعددية الغرض ، إذ يمكن للروبوت من هذا النوع التعامل مع تنوعات كبيرة من الأجسام على أساس إدراك العلاقة بين قيمة القوة والتغير المقابل فى الشكل .

هذا وتجرى محاولات أخرى لتصميم يد روبوتية « شبيهة باليد البشرية » anthropomorphic فى مراكز البحوث المختلفة . والمتأمل لليد البشرية يجد أنها مكونة من أربع أصابع مفصلية يقابلها الإبهام . وهى قادرة بهذا التكوين ليس فقط على الإمساك بالأجسام ، وإنما أيضا على القيام ببعض العمليات المعقدة مثل تدوير جسم بأصابع اليد دون الحاجة إلى إنزاله .

وتحتوى اليد الروبوتية الشبيهة عادة على ثلاث أصابع فقط بكل منها مفصلان أو ثلاثة على أكثر تقدير . ويعنى هذا ضرورة الجمع بين تسعة موتورات كهربية فى حيز يماثل حجم اليد البشرية أو يزيد عليه قليلا . ويمكن التنازل عن وضع موتور على كل مفصل والاكتفاء بتثبيت الموتورات فى كف اليد وتوصيل الحركة إلى المفصلات بواسطة نظم لنقل الحركة مكونة من أوتار قصيرة وبكرات محززة .

ولا تقتصر الصعوبة على تجميع الموتورات فى اليد ، وإنما تتعدى ذلك إلى تصميم نظام للتحكم يمكنه التنسيق بين التحركات المختلفة للأصابع الثلاث ، وكذلك تثبيت مستشعرات القوى واللمس على كل إصبع .

وهو ما يماثل تماما محاولة التحكم فى روبوت ذى ثلاث أذرع بكل منها قابض مزود بنفس النوع من المستشعرات .

الحوار مع شبكات المعلومات Networking :

سوف تعمل روبوتات المستقبل فى بيئة متخمة بالمعدات والنظم الموجهة بالحواسيب . ومن ذلك ، وحدات التصميم بمعاونة الحاسوب computer-aided design units ، ووحدات تخطيط العمليات بمعاونة الحاسوب computer-aided process planning units ، ونظم تخطيط مستلزمات التصنيع manufacturing resource planning systems ، ونظم معلومات التصنيع manufacturing information systems ، والنظم الخبيرة expert systems ، ونظم التحكم الرقمى بالحواسيب computer numerical control systems ، والنظم المرنة الخاصة بالتصنيع flexible manufacturing systems ، وغيرها كثير .

وسوف يقع على عاتق مصممى الروبوتات فى المستقبل القريب ضرورة التلاحم بين روبوتاتهم وشبكات المعلومات المختلفة داخل المصنع وربما خارجه .

وتجرى حاليا داخل الولايات المتحدة محاولات عديدة لتنميط « وحدات التلاحم » interface ووضع بروتوكولات ومواصفات قياسية لتنظيم الاتصال بين شبكات المعلومات تَحَسُّبا لليوم الذى يصبح فيه الربط بين النظم والمعدات التى تعتمد على الحواسيب فى المواقع الإنتاجية والخدمية ضرورة تقنية واقتصادية لاغنى عنها

وينبغى لمصممى الروبوتات متابعة مجهودات تنميط نظم التلاحم والاتصال ، والا ستعانة بكل جديد فى هذا المجال عند تحديث روبوتاتهم المستقبلية .

تطور مجالات الاستخدام

سوف تُحدد مجموعة كبيرة من العوامل التقنية والاقتصادية المختلفة مستقبل انتشار التقنيات الروبوتية فى المجالات الصناعية والخدمية سواء كانت هذه المجالات مسرحا للنشاط الروبوتى فى الوقت الراهن ، أو كانت خلوا منه لأسباب تمليها الإمكانات الحالية المحدودة .

وقد قدم لنا « آيرز » Ayres و « ميللر » Miller فى مرجعهما القيم "Robotics, Applications and Social implications" تصورا مقارنا للإمكانات الروبوتية الحالية والمستقبلية . وقد شمل التصور الذى سوف نعرض له فيما يلى حدودا أربعة للإمكانات الروبوتية ، وهى :

١ - إمكانات الروبوتات المعاصرة أو السابقة (الجيل الروبوتى الأول) .
٢ - إمكانات سوف يتمتع بها الجيل الثانى من الروبوتات فى المستقبل القريب .
٣ - إمكانات بالغة التقدم قد تصبح فى متناول الروبوتات فى المستقبل الأبعد .
٤ - إمكانات يستحيل على الروبوتات التمتع بها حتى فى المستقبل البعيد .

وتشمل المجموعة الأولى (١) المجالات الآتية :

العزف على البيانو ، وتحميل وتفريغ مكنات التشغيل ذات التحكم الرقمى ، وتحميل وتفريغ مكنات السباكة بالضغط ومكنات صناعة المطروقات ومكنات السباكة فى قوالب ، وعمليات الطلاء بالرش على خطوط التجميع ، وقص الأقمشة بأشعة الليزر ، وصنع القوالب ، وتنظيف أسطح المسبوكات من الرمل ، واستخدام بعض أدوات التشغيل مثل مدفعات اللحام والمثاقب وما أشبه ، وتجميع الأجزاء الميكانيكية والكهربية البسيطة مثل الموتورات الصغيرة والمضخات والمحولات وأجهزة الراديو والمسجلات .

وتشمل المجموعة الثانية (٢) المجالات الآتية :

استخدام المكنسة الكهربائية فى تنظيف السجاد (مع إمكان تجنب العوائق) ، وتحميل وتفريغ مكنات نفخ أو تقطيع الزجاج ، وتجميع الأجزاء الكبيرة أو المعقدة مثل أجهزة التليفزيون والثلاجات وأجهزة التكييف وأفران « الميكروويف » والسيارات وما أشبه ، وتشغيل مكنات تقطيع الأخشاب ، والسير على قدمين ، وجز صوف الخراف ، وغسل النوافذ ، وحك القشريات من قيعان السفن ، وتنظيف الحوائط بالهواء المضغوط .

وتشمل المجموعة الثالثة (٣) المجالات الآتية :

إعداد وترتيب المائدة ، وتنظيفها ، وتحميل غسالة الأطباق ، ولحام المسبوكات أو المطروقات المشروخة ، وإعداد الفراش ، وتحديد مواضع التسريب فى الخزانات وخطوط الأنابيب وإصلاحها ، وفتح الأقفال ، وحياكة الملابس ، وعمل « الدانتيلا » ، وتشحيم مكنات التعدين المستمر أو ما يشابهها من معدات ، وضبط محركات السيارات ، وصنع قوالب تشكيل المطروقات من المساحيق المعدنية ،

وتحميل وتفريغ مكنات الحياكة ، ورص الطوب فى خط مستقيم ، وتغيير الإطارات ، وتشغيل الحراريات والمحاريث ومكنات الحصاد فى الحقول الممهدة ، وضخ الجازولين ، وقطف الثمار ، وأداء الشقلبات ، ورتق الثقوب البسيطة ، والمشى على حبل مشدود ، والرقص مع « الكورس » ، وطهو « الهامبرجر » فى المقاصف .

أما المجموعة الرابعة والأخيرة (٤) فتشمل المجالات الآتية :

تقطيع الألماس ، وصقل الأحجار الكريمة ، وفرز الأعناب ، وإصلاح كرسى أو طبق مكسور ، ورفو جورب أو سروال ، ولعب « التنس » أو « البنج بونج » على مستوى البطولات ، وصد كرة القدم فى المسابقات الدولية ، والوثب « بالزانة » ، ورقص « الباليه » ، وركوب دراجة وسط حركة المرور ، وقيادة سيارة فى الشوارع المزدحمة ، وإصلاح صورة محطمة ، وتقليم شجرة ، وتجميع الهيكل العظمى لديناصور ، وقص الشعر وتصفيفه ، وعمل « المكياج » بأسلوب فنى ، وإصلاح الكسور المضاعفة ، وإزالة الزائدة الدودية ، وعزف الكمان ، والحفر فى الخشب أو « المرمر » ، وبناء حائط من الطوب ، ورسم لوحة بالفرشاة ، وإصلاح الزجاج « المعشق » فى نوافذ الأماكن الأثرية ، والقيام بعمليات توليد الحوامل ، وتقطيع اللحوم وتجهيزها ، والتقبيل العاطفى .

وأيا ما كان الرأى فى التصور الذى قدمه « آيرز » و « ميللر » ، فإنه يعطى فكرة عن وجود حدود ما للإبداعات الروبوتية . وسوف نستعرض فيما يلى بعض الاستخدامات الواقعية للروبوتات فى المستقبل القريب ، مع التركيز على ثلاثة مجالات رئيسية وهى : المجال الصناعى ، ومجال الأعمال الخاص بالأجواء ذات الخطورة ، ومجال الخدمات . وقد يجد القارىء بعض التركيز على مجال الخدمات عند تناول موضوع مستقبل الروبوتات مما لم يجده عند تناول التطبيقات الروبوتية المعاصرة . ويعكس هذا وجهة النظر التى ترى مستقبل الروبوتية فى مجال الخدمات أكثر مما تراه فى المجال الصناعى . إذ تؤكد الإحصاءات فى دولة صناعية كبرى مثل الولايات المتحدة الأمريكية أن ١٨ بالمائة فقط من إجمالى العمالة تشتغل بالصناعة ، على حين يزاول الباقون أعمالا مختلفة فى قطاع الخدمات . فإذا أخذنا فى الاعتبار أيضا أن الاتجاه العام للتقدم الحضارى يسير باتجاه مجتمع المعلومات مبتعدا عن المجتمع الصناعى الذى ساد طوال القرون الثلاثه الماضية ، لأمكننا إدراك أهمية التقنيات الروبوتية المستقبلية فى قطاع الخدمات بمختلف تنوعاته .

أمر آخر نود الإشارة إليه ، وهو الاختلاف الجوهرى فى طبيعة المهام التى تقوم بها الروبوتات الحالية والتى سوف تقوم بها روبوتات الغد . وقد يمكن للقارىء

أن يحدس هذه الاختلافات مما عرضناه فى القسم الأول من هذا الفصل فيما يختص بتطور التصميمات الروبوتية ، إلا أننا ، تعميما للفائدة ، سوف نوجز فيما يلى أهم هذه الاختلافات :

١ - سوف تكون المهام الروبوتية فى المستقبل أكثر تعقيداً . فبالإضافة إلى الأعمال المتكررة ، سوف تزاول الروبوتات أعمالا شبه متكررة ، وأحيانا غير متكررة على الإطلاق .

٢ - سوف تحتاج مهام المستقبل إلى قدر كبير من الذكاء الاصطناعى ومن مقدرة الروبوت على اتخاذ القرارات المناسبة .

٣ - سوف تتطلب الكثير من هذه المهام « التنقل الحر » للروبوت فى بيئات ذات طبيعة غير محكومة وغير محددة .

٤ - تحتاج المهام الروبوتية فى المستقبل إلى مقدرة استشعارية عالية المستوى ، وخاصة فى مجالات الإبصار الآلى ، والاتصال الصوتى ، والإدراك اللمسى .

٥ - سوف تعتمد المهام الروبوتية فى تنفيذها على أطراف بالغة الحساسية ومتعددة الأغراض .

٦ - تتميز مهام المستقبل بالتنوع الكبير الذى يتطلب تصميما كهرميكانيكيا خاصا لكل حالة ، وعليه فسوف يجرى تجميع الروبوتات من وحدات بنائية نمطية متكررة لتلائم الأغراض الخاصة .

٧ - سوف يجرى تنفيذ العديد من المهام الروبوتية فى بيئات يصعب الوصول إليها ، نظرا لما تشكله من خطورة أو نتيجة لظروف بيئية بالغة الصعوبة ، ولذلك سوف يراعى فى تصميم الروبوتات احتياجها لأقل قدر ممكن من الصيانة والخدمات ، وتمتعها بإمكانات كبيرة للاتصال والتشغيل عن بعد .

استخدام الروبوتات فى الصناعة :

يمكن التنبؤ بالمجالات الصناعية التى يتوقع انتشار استخدام الروبوتات فيها إذا ما أمعنا النظر فى التغيرات التى طرأت على نسب توزيع الروبوتات على المجالات الصناعية فيما بين عامى ١٩٨٤ و ١٩٩٠ فى الولايات المتحدة ، كما يبينه الجدول التالى .

جدول (٤ ـ ١) النسب المئوية لاستخدام الروبوتات فى المجالات الصناعية المختلفة بين عامى ١٩٨٤ و ١٩٩٠

المجال الصناعى	النسب المئوية ٪ ١٩٨٤	النسب المئوية ٪ ١٩٩٠
١ ـ تداول المواد وتحميل المكنات	٣٠ ـ ٣٥	٢٠ ـ ٣٠
٢ ـ اللحام البقعى	٣٢ ـ ٤٠	٥ ـ ١٠
٣ ـ اللحام بالقوس الكهربائية	٥ ـ ٨	١٥ ـ ٢٠
٤ ـ الطلاء بالرش	٨ ـ ١٢	٤ ـ ٨
٥ ـ التجميع والتفتيش	٧ ـ ١٠	٢٥ ـ ٣٥
٦ ـ الأبحاث والتدريب	١ ـ ٢	٢ ـ ٦
٧ ـ أغراض تصنيعية أخرى	٥	٥ ـ ١٥

ومن المتوقع ، طبقا للبيانات السابقة ، نمو الاستخدامات الروبوتية بشكل مطرد فى أعمال التجميع والتفتيش وفى عمليات اللحام بالقوس ، واستمرار معدل الزيادة فى عدد الروبوتات المستخدمة فى عمليات تداول المواد وبعض نظم التصنيع الحديثة . وتمثل أعمال التجميع مجالا واعدا لاستخدام الروبوتات فى المستقبل القريب ، وعلى وجه الخصوص عمليات التجميع بالدفعات . إذ أنه من الصعب على الروبوتات منافسة المكنات ذوات نظم الأتمتة الثابتة فى عمليات الإنتاج الكمى للمنتجات البسيطة التى لايزيد عدد مكوناتها على عشرة مكونات ، مثل الأقلام ، وأجهزة الإضاءة التصويرية (الفلاشات) ، وما أشبه . فحتى مع افتراض رخص أسعار الروبوتات فى المستقبل ، فإنه سوف يظل من الأنسب اقتصاديا استخدام المكنات المتخصصة ذات السرعة العالية فى القيام بتجميع المنتجات فى خطوط الإنتاج المستمرة عالية الإنتاجية .

أما فى حالة التجميع على دفعات صغيرة أو متوسطة ، مثل حالات تجميع الموتورات الكهربية والمضخات وما أشبه ، وكذلك فى حالة تجميع المنتجات الأكثر تعقيداً ، مثل أجهزة التليفزيون والسيارات وأجهزة الراديو والساعات وما إلى ذلك ، فسوف يكون من الأنسب استخدام الروبوتات فيها .

ويُطلق عادة على عمليات التجميع من النوع السابق « التجميع القابل للبرمجة » programmable assembly . ورغم ضآلة عدد الروبوتات المستخدمة حالياً فى

عمليات التجميع المبرمج فإنه من المتوقع تزايد العدد بشكل مطرد خلال السنوات القادمة بسبب تحسن الإمكانات الروبوتية وزيادة التمرس بتقنيات التجميع الحديثة . وعموما ، سوف يعتمد نمو استخدام الروبوتات فى هذا المجال على تحسن إمكانات الاستشعار ، والإبصار الآلى على وجه الخصوص ، وكذلك على زيادة درجة الدقة والتكرارية وسرعة الأداء . هذا إلى جانب تعديل التصميمات وطرق التثبيت لتلائم الأداء الروبوتى .

ومن المنتظر أيضا تحسين عمليات البرمجة خارج الخط off-programming على نحو تستوعب معه تطوير برامج روبوتية معقدة باستخدام البرامج الجاهزة للتصميم وللتصنيع بمساعدة الحاسوب CAD/CAM ، ويعنى ذلك تحميل هذه البرامج مباشرة من الحواسيب إلى وحدة التحكم فى الخلايا الروبوتية .

ويُعتبر تجميع الأجهزة الإلكترونية من المجالات الخصبة لاستخدام الروبوتات ، لأنه من المنتظر نمو صناعة الإلكترونيات نموا مذهلا خلال العقدين القادمين .

ومن المجالات الأخرى المفتوحة أمام الروبوتات فى المستقبل القريب ، عمليات اللحام بالقوس الكهربائية . إذ مازالت غالبية عمليات اللحام القوسى المتواصلة تجرى يدويا . ويُستثنى من ذلك وجود روبوتات لحام قوسى تعمل فى إنتاج الكميات المتوسطة والكبيرة من المشغولات ، وهى على أحدث ماعرف حتى الآن من إمكانات استشعار وبرمجة . ويتطلب استخدام هذه الروبوتات فى خطوط الإنتاج القيام ببرمجة دورة اللحام فى الروبوت وتثبيت المشغولات بالنسبة لها (أى للدورة) .

وتحتاج برمجة الروبوتات عادة وقتا أطول مما تحتاجه عملية اللحام ذاتها ، إلا أن الإنتاج شبه المستمر يؤدى فى نهاية الأمر إلى الحصول على إنتاجية تصل إلى ثلاثة أمثال الإنتاج بدون الروبوتات .

إلا أن أهم المشكلات التى تعوق استخدام الروبوتات فى عمليات اللحام بالقوس هى صعوبة التغلب على عدم انتظام أسطح الوصلات ، مما يتطلب تمتع الروبوت ببعض إمكانات « الذكاء » التى تتيح له تصحيح وضع أداة اللحام بحسب الحالة .

وتجرى حاليا أبحاث مُكَثفة لإنتاج مستشعرات يمكنها تتبع عدم الانتظام فى حواف اللحام . وسوف يتوقف انتشار استخدام الروبوتات فى مجال اللحام القوسى على إنتاج هذه المستشعرات على المستوى التجارى فى المستقبل .

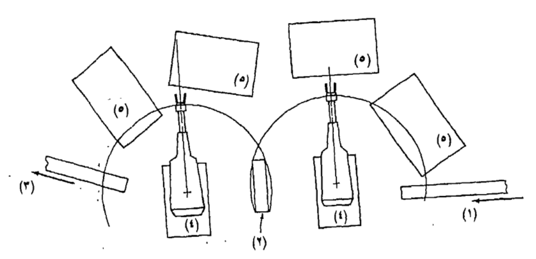
هذا ، وتُمثل عمليات تداول المواد وتحميل المكنات المجال الثالث المرتقب

لاستخدام الروبوتات فى الصناعة . ومن أهم المشكلات التى تعوق استخدام الروبوتات فى عمليات التداول ، ضرورة توجيه المشغولة وضبط وضعها بالكيفية التى تضمن تعرف الروبوت عليها والتقاطها . ولم يكن هناك من حل لهذه المشكلة سوى تزويد الخلايا الروبوتية بمعدات تداول إضافية ، وأحيانا بعمالة بشرية ، للمساعدة فى وضع المشغولة فى المكان المناسب بالنسبة للروبوت . ويؤدى هذا بالطبع إلى زيادة فى تكلفة المعدات اللازمة لخط الإنتاج ، بالإضافة إلى زيادة تكلفة التشغيل بسبب الاحتياج لبعض العمالة البشرية فى عمليات التداول . وتعضد مشكلة وضع المشغولات من حجة مهندسى الأتمتة الذين يرون عدم القيام بأى أعمال خاصة بالتداول أثناء عمليات التشغيل ، والاكتفاء بأداء ذلك فى بداية الخط الإنتاجى فقط ، واعتبار استخدام معدات إضافية وعمالة بشرية مبررا كافيا لعدم استخدام الروبوتات فى هذا المجال . ويتناسى هؤلاء المهندسون أن الممارسات العملية فى مصانع اليوم تؤكد أنه يجرى عادة تخزين الأجزاء اللازمة للعمليات وهى مكومة عشوائيا فى صناديق أو حاويات صغيرة ، وأنه يجرى فرز القطع المطلوبة يدويا قبل وأثناء عمليات التشغيل ، وخاصة فى عمليات الإنتاج بنظام الدفعات .

وقد جرى فى الآونة الأخيرة تطوير نظم فرز متقدمة يطلق عليها « نظم الالتقاط من الصندوق » bin-picking systems . وتعتمد هذه النظم على الإبصار الآلى فى التقاط القطع المطلوبة من بين كومة من القطع المُكدّسَة عشوائيا . وسوف يؤدى انتشار استخدام هذه النظم فى المستقبل إلى استخدام الروبوتات فى عمليات التداول وتحميل المكنات machine loading . وقد أكدت بعض الدراسات التى أجريت فى الولايات المتحدة تضاعف مبيعات الروبوتات المزودة بنظم « التقاط من الصندوق » خلال السنوات الخمس الأخيرة . وسوف يؤدى أيضا استخدام روبوتات مزودة بنظام إبصار آلى ، جنبا إلى جنب مع نظام الالتقاط المذكور ، إلى تقديم حل نهائى فى المستقبل لمشكلة ضبط أوضاع المشغولات فى خطوط الإنتاج التى تستخدم الروبوتات فى عمليات التداول .

ومن المجالات الواعدة لاستخدام الروبوتات مايعرف « بنظم التصنيع المرنة » flexible manufacturing systems . وقد ظهر مفهوم النظم المرنة فى أواخر السبعينيات باعتباره يحقق مزايا عديدة لزيادة الإنتاج وترشيد التكلفة . وتقوم هذه النظم على التشغيل المتكامل لمجموعة من المكنات الإنتاجية المؤتمتة (مكنات التحكم الرقمى عادة) عن طريق الربط بينها بواسطة نظام خاص لتخزين وتداول المواد يجرى التحكم فيه وفى تشغيل المكنات بواسطة الحواسيب . ومن المتوقع انتشار هذه النظم فى الصناعة العالمية انتشارا كبيرا مع زيادة التقدم التقنى بوجه عام ومع

انخفاض تكلفة نظم التحكم بالحواسيب . ويمكن بوجه عام تحسين كفاءة تداول المواد بين المكنات إذا ما استخدمت الروبوتات المتقدمة فيه . ويبين شكل (٤ ـ ٥) تصورا لعملية تشغيل ، تستخدم فيها الروبوتات لتداول المواد بين أربع مكنات وبين سيور المواد الخام والمنتجات النهائية .



شكل (٤ – ٥) استخدام الروبوتات فى « نظم التصنيع المرنة »
(١) « سير » المواد الخام ، (٢) مخزن المواد داخل الخلية ، (٣) « سير » المواد المنتجة .
(٤) الروبوت ، (٥) مكنة التشغيل .

يضاف إلى التطبيقات الصناعية السابقة المرشحة لاستخدام الروبوتات بعض التطبيقات الأخرى غير المعروفة على وجه التحديد ، وإن كان من الممكن التنبؤ بظهورها على خارطة التطبيقات الروبوتية فى المستقبل . ويرجع عدم التحديد إلى تباين نتائج البحوث والتجارب المعملية بشأنها . ومن ذلك ، تصنيع الملابس الجاهزة ، والأحذية ، وتعليب وتغليف المنتجات ، وتصنيع الأغذية ، وعمليات تغطيس المواد فى أحواض الطلاء الكهركيميائى ، وما أشبه .

استخدام الروبوتات فى الأجواء الخطيرة :

رأينا فيما سبق كيف أن استخدام الروبوتات فى العمليات الصناعية يحتاج فى الوقت الحاضر ، وسوف يحتاج فى المستقبل ، إلى المبررات الاقتصادية التى تحقق له المنافسة مع الآليات المؤتمتة الأخرى .

أما العمل فى الأجواء والأمكنة الخطيرة فيضع الروبوتات خارج المنافسة ، ويعتبر فى حد ذاته مبررا كافيا لاستخدامها بديلا للإنسان بل ويضع معارضى

التطبيقات الروبوتية ، بسبب آثارها الاجتماعية على العمالة ، فى موقف المؤيد ، حيث إن الهدف النهائى من هذه المعارضة هو حماية الإنسان والسعى لرفاهيته . وسوف نتعرض فيما يلى ، على سبيل المثال لا الحصر ، لمجموعة من المجالات التى يُنتظر استخدام الروبوتات فيها فى المستقبل غير البعيد .

١ ـ *استخدام الروبوتات فى الإنشاءات المدنية :*

هناك ثلاثة أسباب لاعتبار الإنشاءات المدنية ميدانا رحبا لاستخدام الروبوتات فى المستقبل : أولها ، اشتمالها على عنصر الخطورة على حياة العمال ، وثانيها ، تركيز العمل فى مكان ثابت طيلة العمليات ، وثالثها ، ما تتميز به معظم عملياتها من تكرارية ورتابة .

وعلى النقيض من ذلك ، توجد بعض الصعوبات التقنية التى ينبغى التغلب عليها ليصبح استخدام الروبوتات أمرا واقعا فى مجال الإنشاءات . ومن ذلك ، اشتمال بيئة العمل على عدد لاحصر له من العوائق التى تعترض تنقل الروبوتات للقيام بأعمال الحفر أو البناء أو مد خطوط المواسير أو ما أشبه . إلا أنه من الممكن استعارة ما تتميز به مكنات ومركبات الأعمال الإنشائية الحالية من عناصر تصميمية تتيح لها التنقل عبر العوائق ، مثل العجلات الكبيرة والمجنزرات والقوائم الهيدرولية . ويمكننا تخيل روبوت المستقبل الذى سوف يعمل فى هذا المجال وقد تم تزويده بعجلات كبيرة وبنظام هيدرولى يكفل له الاتزان وتصحيح وضعه عند اجتياز العوائق .

كذلك ، قد يواجه روبوت المستقبل صعوبة تتبع مسار خنادق المرافق أثناء عمليات الحفر ، مما يتطلب تزويده بنظام إبصار آلى يدعمه برنامج مناسب لتتبع المسارات .

وسوف يحتاج الروبوت أيضا إلى التعامل مع أدوات متعددة مثل المثاقب والقواطع ومعدات لىّ أسياخ الفولاذ وما أشبه ، ويستلزم ذلك تزويد الروبوت بقابض متعدد الأغراض ، وبآليات مناسبة لتغيير الأدوات المستخدمة وفقا للاستخدام .

أما الروبوتات التى سوف تعمل داخل المبانى أثناء عمليات « التشطيب » المختلفة ، فسوف تحتاج إلى آليات تنقل مختلفة عن الأنواع التى تعمل فى الإنشاءات الخارجية . إذ تبدو السيقان المتحركة هى الوسيلة المثلى لصعود الدرج داخل المبنى والتحرك بحرية فى وجود العوائق والإشغالات . ومن

المعتقد أن ما يمتاز به الروبوت من مقدرة على العمل ٢٤ ساعة يوميا سوف يعطيه أيضا ميزة اقتصادية كبيرة على العمالة البشرية فى مجال الإنشاءات المدنية .

- *استخدام الروبوتات فى مناجم تحت سطح الأرض :*

تُعتبر مناجم الفحم العميقة أخطر ما يواجه العمالة البشرية فى مجال التعدين ، فهى فوق ما تُمثله من احتمالات خطيرة من ناحية الانهيارات والانفجارات ، تُمثل خطرا دائما على صحة العامل بما يستنشقه من مواد وانبعاثات خانقة ومسرطنة . ويمكن إدراك مدى الخطورة فى عمليات مناجم الفحم إذا علمنا أن متوسط عدد الحوادث قد بلغ ٤٥٠ حادثة وفاة لكل ١٠٠٠٠٠ عامل فى الولايات المتحدة وفقا لبيانات ١٩٦٩ ، وأن هذا الرقم قد انخفض إلى ٨٠ مع تشديد الإجراءات الخاصة بحماية العمال ، إلا أنه لايزال مرتفعا للغاية إذا ماقورن بالصناعات الأخرى التى لاتتجاوز فيها نسبة الوفيات ١٠ حالات لكل مئة ألف عامل .

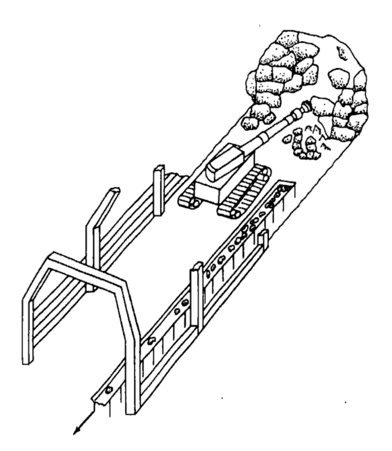
ويعانى عمال المناجم من التفحم الرئوى أو مايطلق عليه « الرئة السوداء » black lung إذا ما واصلوا العمل فى المناجم العميقة لمدد طويلة .

إن إلقاء نظرة على خارطة موارد العالم من مصادر الطاقة سوف تضع الفحم على رأس القائمة من حيث الاحتياطيات المتاحة ، ومن المنتظر مع تحسن تقنيات استخدام الفحم كمصدر رخيص للطاقة تزايد أعمال التنقيب والاستخراج من المناجم العميقة تحت سطح الأرض .

ورغم تطوير وسائل الاستخراج وإمكانات الأتمتة فإن وجود العامل البشرى مازال ضروريا لتوجيه العمل تحت سطح الأرض .

والأمل معقود على الروبوتات فى تجنيب العمالة البشرية ما يكتنف التعدين الفحمى من أخطار .

ويبين شكل (٤ - ٦) نموذجا لمكنة روبوتية يمكن استخدامها فى شق الأنفاق وإستخراج الفحم من واجهة النفق . وتحتاج هذه المكنة إلى إمكانات عالية من الاستشعار والبرمجة والذكاء الاصطناعى ، مما لم يتح بعد فى الوقت الحاضر . كذلك ، لابد أن يكون الروبوت من النوع المتنقل ليمكنه التقدم داخل النفق كلما زاد عمق الحفر فى الواجهة . ويمكن استخدام « المجنزرات » كوسيلة مناسبة للتنقل فى هذه الظروف . ويمكن تخزين هيئة النفق ، من حيث شكل المقطع



شكل (٤ – ٦) روبوت مناجم الفحم

والامتداد حتى الواجهة ، فى ذاكرة الروبوت ، والاستعانة بنظام إبصار ثلاثى الأبعاد لإعادة تشكيل هيئة النفق وفقا لتقدم أعمال الحفر . « ويستطيع » الروبوت عندئذ مقارنة معطيات الصور لاتخاذ القرار المناسب بشأن كيفية مواصلة الحفر أو التوقف .

وهناك صعوبات كثيرة سوف تعترض عمل الروبوتات فى مناجم الفحم ، ويجب على المصمم أخذها جيدا فى الاعتبار . ومن ذلك ، تصاعد غبار الفحم وتغطيته للمستشعرات ولنظم الإبصار الآلى ، بالإضافة إلى تأثيره السيىء على الأداء الميكانيكى للروبوت ، وحدوث تآكل سريع فى الأطراف والأدوات الروبوتية بفعل القوى الكبيرة المصاحبة لأعمال الحفر . كذلك ينبغى مع تقوس سقف المنجم بتقدم الحفر ، عمل دعامات سقفية ومد خطوط السير الناقل إلى المواقع الجديدة . ويمكن فى الحالة الأخيرة إما الاستعانة بالعمالة البشرية ، وإما استخدام روبوتات خاصة من النوع المستخدم فى أعمال التشييد .

ورغم كل الصعوبات السابقة فإن توقع تشغيل نحو ١٥٠٠٠٠ عامل فى مناجم الفحم تحت الأرض مع بداية القرن القادم قد يكون دافعا كافيا أمام منتجى الروبوتات لمواجهة هذا التحدى وتحقيق مكاسب لا بأس بها ، وخاصة مع تزايد المطالبة بتحسين أوضاع عمال المناجم وما يقومون به من إضرابات متكررة .

٣ ـ *استخدام الروبوتات فى محطات توليد القوى :*

يمكن باستخدام الروبوتات فى محطات توليد القوى الكهربية ، بأنواعها المختلفة ، تجنيب البشر الكثير من المخاطر . ففى حالة المحطات النووية ، يمكن تسخير الروبوتات للقيام بأعمال الإصلاح والصيانة فى المفاعلات والغلايات ، وتداول المواد المشعة . أما فى المحطات التقليدية التى تعمل بالفحم أو الوقود ، فيمكن استخدام الروبوتات فى أعمال الإصلاح والصيانة بالأمكنة الخطيرة والشاهقة ، بالإضافة إلى أعمال الإنشاءات المدنية ، وعمليات تداول الفحم ، وفحص مواسير الغلايات والمكثفات ، وفحص بطانات المداخن وممرات العادم ، كما يمكن للروبوتات القيام بأعمال الحراسة والمراقبة حول المحطات .

٤ ـ *استخدام الروبوتات فى الأعمال العسكرية :*

الأعمال العسكرية ، سواء فى وقت السلم أو الحرب ، تنطوى على مخاطر عديدة يمكن تجنب بعضها باستخدام الروبوتات . ومن ذلك ، إرسال الروبوتات فى المهام الانتحارية خلف صفوف الأعداء ، وتزويد المركبات بالوقود فى مسرح العمليات ، وقيادة رتل من الشاحنات خلف شاحنة يقودها إنسان ، وتحميل وتفريغ الشاحنات والسفن الحربية ، والعمل فى غرف المحركات على ظهر السفن ، والقيام بالإنشاءات الحربية المؤقتة ، مثل مد المعابر وما أشبه .

٥ ـ *استخدام الروبوتات فى مكافحة الحريق ومهام الأمن العام :*

يمكن فى المستقبل تطوير روبوتات خاصة لمكافحة الحرائق بحيث تُجنّب البشر التعرض للاختناق والاحتراق أثناء عمليات الإنقاذ . ويمكن للروبوت من هذا النوع الدخول إلى الأمكنة المشتعلة وتوجيه المحاصرين إلى مخارج النجاة ، واستخدام أدوات الإطفاء بجرأة سوف يحسده عليها أشجع البشر . كذلك يمكن استخدام الروبوتات المزودة بمستشعرات للشم فى مراقبة المنشآت والمبانى والتوجه إلى أى مكان تتصاعد منه أدخنة الحريق والتعامل معه بأجهزة الإطفاء المناسبة .

أما فى الأغراض البوليسية وحماية الأمن العام ، فيمكن استخدام الروبوتات فى مراقبة المرور ، والقيام بالدوريات المعتادة ، واقتحام أوكار المجرمين بأقل الخسائر ، هذا بالإضافة إلى أعمال الحراسة المعتادة حول المنشآت المهمة وفى داخلها .

وقد بدأ بالفعل استخدام الروبوتات فى بعض هذه الأغراض ، مما تعرضنا له فى مقدمة الكتاب ، مما يبشر بتعاظم دورها فى هذا المجال فى المستقبل القريب .

٦ - ***استخدام الروبوتات فى أعماق البحار :***

مازالت الأعمال التى يقوم بها البشر فى أعماق البحار والمحيطات تنطوى على كثير من المخاطر وتحتاج إلى قدر كبير من المغامرة وحسن التصرف . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن مقدرة البشر محدودة من حيث إمكان البقاء فى الأعماق ، كما أن مقدرتهم على التنقل تحت سطح الماء والدخول إلى حطام السفن والآثار الغارقة والقيام بأعمال الإنشاءات البحرية يشوبها الكثير من القصور . ولهذا تعتبر الروبوتات هى الحل المناسب لتنمية مقدرة الإنسان على الاستفادة من البحار والمحيطات بكل ما تحتويه من ثروات دون تعريض حياة البشر للكثير من الأخطار .

ومن المجالات التى تُرشح الروبوتات للعمل فيها ، اكتشاف الخامات التعدينية فى الأعماق ، وجمع العينات الجيولوجية ، وعمليات الحفر واستخراج الخامات ، والبحث عن الأشياء الغارقة والمفقودة ، والإنشاءات المدنية تحت الماء ، وعمليات الصيد وتنمية المزارع السمكية التى تجرى فى الأعماق .

ومن المنتظر أن تتصف الروبوتات البحرية فى المستقبل ببعض الخصائص التى لاتتميز بها الروبوتات الأرضية ، ومن ذلك ، معالجتها بحيث تقاوم الصدأ وتكوُّن الحشف البحرى على سطحها ، وعزلها عزلا جيدا ضد تسرب المياه ، وخاصة فى الأعماق السحيقة ، وتزويدها بمصدر مناسب للقدرة تحمله على متنها ، بالإضافة إلى المستشعرات السونارية ومستشعرات اللمس والإبصار ومجموعة متعددة الأغراض من المناولات والقوابض والأدوات . ومن الممكن تزويد الروبوتات البحرية بالقدرة بواسطة بطاريات من نوع خاص تتميز بخفة الوزن ، أو بواسطة خلايا وقودية fuel cells بعد مواءمتها للعمل لفترات طويلة تحت سطح الماء . كذلك يمكن تعديل المُشغّلات الهيدرولية لتعمل بماء البحر بدلا من الزيوت ، وسوف تُستخدم هذه المشغلات فى تحريك الأذرع الروبوتية وفى تنقل

الروبوت تحت الماء . ومن المنتظر كذلك ، حدوث تغيرات جذرية فى نظام التنقل ذاته حيث تجرى الاستعانة بوسائل دفع شبيهة بالأنواع المستخدمة فى الغواصات بدلا من الاعتماد على الأرجل والعجلات . ومن الممكن تصميم الروبوت على نحو يُلاشى وزنه تحت الماء باستخدام التوازن مع قوى الطفو ، وذلك ، بتزويد الروبوت بغرف هوائية يجرى التحكم فى درجة امتلائها بالماء وفقا للعمق الذى يعمل عنده الروبوت .

والاتصالات من الأمور الحيوية للروبوت البحرى ، ويمكن استخدام موجات الراديو فى هذا الغرض ، بالإضافة إلى تزويد الروبوت « بكاميرات » فيديو من النوع الذى يستخدمه المصورون تحت الماء ، وذلك لنقل صورة لما يحدث تحت سطح الماء إلى سفينة القيادة الطافية .

ومن العوامل التى تُعزز الاعتقاد بانتشار الروبوتات البحرية فى المستقبل وجود أشباه لها مستخدمة بالفعل فى البحرية الأمريكية منذ أواسط الستينيات . ويطلق عليها « المركبات المُشَغّلة عن بعد » remotely-operated vehicles وهى عربات يحتويها غلاف مانع لتسرب الماء ومزودة بأذرع ذوات قوابض . ويجرى توجيه المركبة وتغذيتها بالقدرة الكهربية اللازمة للتشغيل بواسطة كبلات متصلة بسفينة التوجيه . وتُستخدم هذه المركبات عادة فى اكتشاف والتقاط المعدات الحربية الغارقة بقرب الشواطىء .

٧ ـ *استخدام الروبوتات فى الفضاء الخارجى :*

الفضاء الخارجى من الأماكن التى تنطوى على العديد من المخاطر التى تهدد حياة البشر وبقاءهم فيه ، حتى مع توفير وسائل الحماية الصناعية لهم . والأمر جد مختلف فى الفضاء عنه فى أعماق المحيطات ، فالمشكلة فى الفضاء هى كيفية توفير الضغط المناسب داخل المعدات الفضائية ، على حين نجد أن المشكلة فى الأعماق هى حماية المعدات من الضغط الخارجى الواقع عليها .

وإذا أخذنا بالاعتبار السرعة المحدودة نسبيا للصواريخ التى تَدْفع المركبات الفضائية فى رحلاتها عبر الكواكب ، لأدركنا الوقت الطويل الذى يُقدر بالسنوات والذى يلزم لإرضاء طموحاتنا المتواضعة بمجرد التجوال عبر كواكب مجموعتنا الشمسية . ومع طول وقت البقاء فى الفضاء ، يواجه الرواد عدة أخطار ، منها ما يصيب الجسم والنظام العصبى من متاعب بسبب صعوبة التأقلم مع الحياة فى ظروف الفضاء الخارجى لمدد طويلة ، ومنها كذلك ازدياد احتمال تلف المعدات

الخاصة بتدبير وتكييف الظروف الحياتية للبشر نتيجة لطول فترة الاستخدام ، مع زيادة احتمال حدوث المفاجآت غير السارة التى قد تنتج عن الاصطدام بالشهب أو بالمخلفات الصناعية المُحوِّمة فى الفضاء .

ويبدو أن البديل الروبوتى هو أفضل الحلول لتجنيب البشر خطر البقاء فى الفضاء لمدة طويلة .

فإذا أضفنا إلى ذلك ، ما تتمتع به عادة برامج الفضاء من دعم مادى وتقنى كبيرين ، لأمكننا توقع انتشار استخدام التقنيات الروبوتية فى الفضاء الخارجى انتشارا كبيرا خلال القرن القادم .

وقد استخدم علماء الفضاء بالفعل الكثير من التقنيات التى يمكن إلحاقها بالروبوتية . ومن ذلك ، استخدام المناولات ذات التحكم عن بعد فى حفر خنادق استكشافية على سطح القمر ضمن البرنامج الأمريكى لاستكشاف سطح القمر خلال الستينيات . وقد حدث نفس الشىء بالنسبة للبرنامج السوفيتى الخاص باستكشاف القمر ، حيث أمكن باستخدام مناولات التحكم عن بعد أخذ عينات من سطح القمر والعودة بها إلى الأرض .

وقد أجريت أيضا مجموعة من التجارب العملية المهمة باستخدام المناولات ذات التحكم عن بعد فى إطار برنامج « فايكنج » لاستكشاف المريخ سنة ١٩٧٦ .

وأخيرا ، استخدم رواد المكوك الفضائى الأمريكى ذراعا روبوتية طولها ٤٣ قدما لنقل المعدات من مخزن البضائع بالمكوك إلى مناطق العمل فى الفضاء خارج المكوك .

وتُعتبر الاستخدامات السابقة مجرد مقدمات لمهام أخرى عديدة تنتظر الروبوتات الفضائية فى المستقبل القريب . ومن هذه المهام ، القيام بعمليات الاستكشاف والإنشاءات الفضائية ، وعمليات الإنقاذ ، وأعمال الصيانة والإصلاح ، والنقل الفضائى ، وتصنيع المواد فى ظروف الفضاء الخارجى ، وما إلى ذلك .

إذ يمكن باستخدام الروبوتات الحصول على المعلومات العلمية المهمة عن الكواكب والأجرام السماوية البعيدة دون تعريض حياة الإنسان للخطر . كما يمكن برمجة الروبوتات ذاتية التنقل على نحو يجعلها تجوب سطح الكوكب ، وتجمع العينات ، وتقوم بإجراء القياسات والتجارب العلمية ، وتحليل النتائج ، ثم إرسالها إلى الأرض .

ومن المنتظر استخدام حواسيب فائقة القدرة فى الروبوتات الفضائية مع دعمها

ببرامج ذكاء اصطناعى متقدمة على نحو يُمَكِّنها من اتخاذ قرارات خاصة بانتقاء مكان الاستكشاف ، ونوعية العينات المطلوب جمعها ، وانتقاء العينات المطلوب إعادتها للأرض بعد انقضاء الرحلة ، وما إلى ذلك .

ومن غير المستبعد ، استخدام الروبوتات فى بناء المستعمرات والمصانع الفضائية وناقلات البضائع الضخمة التى لايمكن إرسالها مجمعة من الأرض إلى الفضاء مباشرة . وقد تعمل هذه الروبوتات تحت إشراف البشر فى أعمال المناولة والتجميع ، إلا أن استخدامها سوف يؤدى بالقطع إلى تقليل الاعتماد على البشر فى هذه المهام الخطيرة .

وهذا يعنى أيضا خفض تكلفة العمليات الفضائية نتيجة لتوفير مستلزمات الحفاظ على حياة البشر فى الفضاء الخارجى والتى تشكل جزءا ملحوظا من تكلفة البرامج الفضائية .

ومن المتوقع أيضا استخدام الروبوتات فى إنقاذ العلماء والفنيين الذين يقودهم حظهم العاثر للابتعاد عن مستعمراتهم والسباحة على غير هدى فى الفضاء الخارجى .

ومع قيام رحلات منتظمة من الأرض للفضاء الخارجى لنقل الأفراد والبضائع ، فمن المنتظر استخدام الروبوتات على متن سفن الفضاء العملاقة للقيام بأعمال الملاحة وصيانة وإصلاح المعدات .

وفى كل التطبيقات السابقة ، سوف تتلقى الروبوتات الأوامر العليا من قادتها من البشر ثم تقوم بتنفيذها مستخدمة مهاراتها الذاتية المعتمدة على برامج الذكاء الاصطناعى .

وقد أكدت الأبحاث فى أواخر القرن الحالى إمكان الاستفادة من الظروف الفضائية ، التى تنعدم فيها الجاذبية ويبلغ فيها الضغط حد التفريغ المطلق ، فى إجراء بعض العمليات الصناعية بهدف الحصول على منتجات يتعذر الحصول عليها فى الظروف الأرضية . ومن ذلك ، معالجة بعض المواد بدون وجود وعاء حاو لها ، وإنجاز بعض عمليات الانتشار فى السوائل والأبخرة ، وكذلك بعض عمليات تَجَمّد المعادن والسبائك فى غياب الترسب أو الانتشار بالحمل الطبيعى الذى يحدث عادة بسبب الجاذبية فى جو الأرض ، إضافة إلى إنجاز بعض العمليات الحيوية فى ظروف انعدام الجاذبية .

وسوف يؤدى بالقطع استخدام الروبوتات فى إنجاز الأعمال السابقة إلى تخفيض تكلفتها وجعلها فى متناول المستهلكين العاديين على كوكبنا الأرض .

إستخدام الروبوتات فى قطاع الخدمات :

هناك العديد من الأعمال غير الصناعية وغير الخطيرة التى يُحقق استخدام الروبوتات فيها مزايا اجتماعية واقتصادية تُلبى طموحات الإنسان فى تطلعه إلى مستوى معيشة أكثر رفاهية وأقل عناء . ويرجع السبب فى الاستعانة بالروبوتات فى أداء هذه الأعمال إلى ما تتسم به من رتابة وتكرار وامتدادها لفترات زمنية قد تستغرق اليوم بأكمله . وقد تحتاج بعض هذه الأعمال إلى مقدرة حسابية أو إلى ذاكرة موسوعية أو إلى دقة فى الأداء تفوق طاقة البشر .

وسوف نكتفى فيما يلى بعرض بعض المجالات فى قطاع الخدمات التى يمكن تصور استخدام روبوتات المستقبل فى القيام بها .

١ - *استخدام الروبوتات فى التعليم والتثقيف :*

تشهد السنوات الأخيرة من القرن العشرين استخدام مايطلق عليه « روبوتات التعليم » teaching robots فى بعض الكليات والمعاهد الفنية لترسيخ بعض المفاهيم الخاصة بالبرمجة والتطبيقات الروبوتية لدى الطلبة . ومن غير المُستبعد امتداد هذا التوجه إلى المدارس بدرجاتها المختلفة خلال القرن القادم . إذ يتمتع الروبوت بجاذبية خاصة لدى الأطفال والتلاميذ بشكل يساعد على الاستفادة منه فى نقل المعلومات المفيدة والمهارات التقنية . وبذلك يمكن لروبوت المستقبل القيام بدور « مساعد المدرس » لمواجهة النقص الملحوظ فى أعداد المدرسين بالنسبة للتلاميذ . وقد لايبدو هذا التوقع غريبا إذا رجعنا إلى الوراء قليلا لنرى كيف انتشرت الحواسيب الشخصية بشكلٍ سريع ومذهل فى المدارس الابتدائية والإعدادية والثانوية فى مختلف دول العالم ، حيث يقبل عليها التلاميذ للتثقيف وللترفيه فى آن واحد .

وسوف يمتاز « الروبوت المُعلم » على الحاسوب الشخصى ببعض إمكانات الاتصال والحركة التى يتوقع حدوث طفرات فيها خلال القرن القادم .

٢ - *استخدام الروبوتات فى الأعمال التجارية :*

يمكن تصور استخدام الروبوتات الذكية فى القيام بالكثير من الأعمال الرتيبة فى

المحلات التجارية بدءا من تنظيف الأرضيات إلى ترتيب البضائع ومراجعة السلع المباعة عند منافذ الخروج ، ومراجعة المخزون السلعى .

٣ - استخدام الروبوتات فى مقاصف الخدمة السريعة :

طلبت إحدى الشركات الكبرى التى تمتلك مجموعة من مقاصف بيع الأطعمة بأسلوب الخدمة السريعة من شركة « يونيماشن » Unimation, Inc. إنتاج روبوتات يمكنها القيام ببعض الأعمال الروتينية الخاصة بتجهيز الأطعمة وطهوها ، وإعداد المشروبات وتوزيعها ، وإعداد الطلبات وفقا للقائمة التى يطلبها العميل .

ويرجع السبب فى هذا الطلب إلى أن الكثير من هذه المحلات يعمل لمدة ٢٤ ساعة يوميا ، ويضطر إلى استخدام عدد كبير من العمالة غير الماهرة للقيام بالأعمال الروتينية البسيطة ، مما يزيد من تكلفة الخدمات ويقلل المقدرة على المنافسة .

ومن غير المستبعد فى المستقبل القريب تلقى شركات إنتاج الروبوتات طلبات مماثلة من هذه المقاصف فى كافة أنحاء العالم . إذ ليس أسرع من التقليد فى هذا المجال الذى يعتمد على المنافسة الشديدة ، وخاصة إذا ما أخذنا بالاعتبار جانب الطرافة والدعاية الذى يحققه استخدام الروبوتات فى مثل هذه المحلات الشعبية .

٤ - استخدام الروبوتات فى الخدمات المصرفية العاجلة :

تُستخدم حاليا فى الكثير من المصارف (البنوك) المكنات الأوتوماتية التى يستخدمها العملاء فى السحب أو الإيداع خاصة فى غير أوقات العمل الرسمية . ويمكن فى المستقبل ، عند إنتاج روبوتات ذات مقدرة على التخاطب الصوتى ، استخدامها على نطاق واسع فى أعمال مصرفية أخرى تتميز بالتكرار والرتابة ، مثل أعمال الإضافة إلى الحساب والخصم منه ، وعد النقود ، والرجوع بسرعة إلى الملف الإلكترونى للعميل للتأكد من الرصيد .

٥ - استخدام الروبوتات فى أعمال جمع ونقل القمامة :

بُذلت محاولات عديدة لميكنة عمليات جمع القمامة فى المدن والقرى . ومن ذلك ، وضع القمامة فى أوعية كبيرة من الفولاذ موزعة فى أمكنة قريبة من المحال والمنازل . هذه الأوعية مزودة بأطراف تداول خاصة على نحو يمكن

معه التقاطها بواسطة مركبات مخصصة لهذا الغرض . أما غالبية أعمال جمع القمامة فتجرى باستخدام شاحنات يقودها سائق ومعه تابع أو أكثر لتجميع أكياس القمامة ووضعها فى الشاحنة . ويمكن فى المستقبل استخدام الروبوتات للقيام بعملية الجمع .

كما يمكن استخدام بعض الأنواع المتقدمة من الروبوتات فى محطات فرز القمامة إذا ما أُحسن تزويد الروبوتات بقوابض ذوات مستشعرات لمسية يمكنها التمييز بين المواد بحسب نوعيتها وخواصها الطبيعية .

٦ - *استخدام الروبوتات فى عمليات شحن وتداول وتوزيع البضائع :*

يحتاج استخراج البضائع من المخازن التجارية الكبرى ، وفقا لأوامر شراء محددة ، ثم شحن هذه البضائع وتوزيعها على المتاجر ، إلى مجموعة كبيرة من الإجراءات الكتابية والأعمال الروتينية . وكثيرا ماتحدث أخطاء عند القيام بهذه الأعمال يدويا (عن طريق البشر) ، ولذلك تُستخدم فى مراكز التوزيع الكبرى نظم للتخزين والاسترجاع المؤتمتين automated storage and retrieval systems (AS/RS) ، وذلك لحوسبة (استخدام الحواسيب) وميكنة الأعمال الكتابية واليدوية . ويحتاج تطبيق هذه النظم فى المخازن إلى استثمارات تقدر بملايين الدولارات . ولاتستطيع المخازن المتوسطة والصغيرة استحداث نظم للتخزين والاسترجاع المؤتمتين . وفى مثل هذه الحالة ، تصلح الروبوتات بديلا مناسبا للقيام بأعمال استخراج البضائع من الأرفف وتحميلها على الشاحنات . ومن الضرورى عندئذ تميز روبوتات المخازن ببعض الإمكانات الخاصة ، مثل قابلية التنقل ، والتعرف على أمكنة التخزين ، والتقاط وتستيف صناديق مختلفة الأحجام والأشكال ، والأهم من ذلك ، إمكان الاتصال المباشر بالحاسوب لتلقى تعليمات استخراج البضائع وفقا لأولويات أوامر الشراء المختزنة بذاكرته .

٧ - *استخدام الروبوتات فى أعمال الحراسة :*

يحتاج العديد من المنشآت المهمة إلى تَوَفُّر حراسة أمنية بشكل منتظم وفعال لاكتشاف أى خلل أو نشاط مُريب ، خاصة فى أوقات خلو هذه المنشآت من العاملين . ومن المعتاد حاليا ، وجود غرفة مراقبة داخل المبنى مزودة بنظم من الدوائر التليفزيونية المغلقة التى تتصل عادة بآلات تصوير موزعة على المداخل والممرات والأمكنة الحساسة ، حيث يجلس مسؤول الأمن أمام الشاشات التليفزيونية لمراقبة الوضع فى المبنى .

ومن الأمور الشائعة استغلال محترفى الإجرام للثغرات الناتجة عن التنميط والرتابة فى أداء نظم المراقبة المعروفة ، بالإضافة إلى الملل والنسيان وعدم دقة المراقبة التى تصاحب عادة الحراسة البشرية .

ويمكن مُستقبلا الاستعانة بالروبوتات للقيام بجولات عشوائية داخل المبنى وإنذار مسؤولى الأمن بوجود أى حَدَث غريب . وهذا يتطلب تزويد الروبوت بإمكانات تنقل مُتقدمة تُمكنه من تسلق الدرج أو استعمال المصعد ، على سبيل المثال .

كما يمكن تزويده بنظام إبصار آلى حديث وإمكانات للإنذار الصوتى والاتصال عن بعد برؤسائه البشريين .

٨ ـ *استخدام الروبوتات فى الرعاية الصحية :*

تتميز غالبية الأعمال التى يقوم بها فريق التمريض والفنيون والمعاونون فى المستشفيات ودور الرعاية الصحية بالرتابة والنمطية ، بالإضافة إلى كثرة الأعمال الكتابية فيها .

ويمكن تصور استخدام الروبوتات للقيام بأعمال ترتيب الأسِرَّة وتوزيع المفروشات والأدوية والمستلزمات الطبية بعد جلبها من المخازن ومن صيدلية المستشفى . كما يمكن استخدامها فى نقل المرضى بين أمكنة الخدمات الطبية المختلفة ، ومراقبة الحالات الحرجة ، وتقديم الطعام والشراب وفقا للتعليمات الطبية . ويمكن للروبوت أيضا تسجيل الحالات المرضية ودخول وخروج المرضى فى ملفات حاسوب مركزى .

وسوف يُحقق استخدام الروبوتات فى المستشفيات ميزة كبرى فى مجال الرعاية المستمرة لمدة ٢٤ ساعة للمقعدين والمعوقين من المرضى والتى تُعتبر من أشق مهام التمريض وأكثرها تكلفة .

٩ ـ *استخدام الروبوتات فى المنازل :*

يمثل استخدام الروبوتات فى المنازل سوقا رائجة أمام منتجى الروبوتات خلال القرن القادم . إذ من المنتظر بعد التغلب على المشكلات التى سبق التعرض لها ـ فيما يختص بالمستشعرات وإمكانات الملاحة والذكاء الاصطناعى ـ إنتاج روبوتات يمكنها القيام بغسل الأطباق ، وتنظيف السجاد ، وترتيب الفراش ، وغسل النوافذ ، والقيام ببعض عمليات الطهو البسيطة . ومن المنتظر أن يتمتع الخادم الروبوتى فى المستقبل ببعض إمكانات تسلق الدرج وتجنب العوائق وفهم

العبارات ذات الصلة بمجال عمله ، مثل « اغسل الأطباق » و « نظف السجادة » و « رتب الفراش » .

ويمكن تحويل الروبوت إلى الخدمة الليلية بعد نوم أصحاب المنزل ، والتى تتضمن أعمال الحراسة ، وإنذار القاطنين بتسرب الغاز أو المياه أو اشتعال الحرائق ، والرد على الزائرين الذين تدفعهم ظروف طارئة إلى التردد على المنزل فى غير الأوقات المعتادة .

وسوف يُساعد على انتشار الروبوتات المنزلية حدوث تقدم كبير فى مجال تصغير الوحدات الحاسوبية على نحو يمكن معه إدخال حاسوب فائق القدرة داخل الروبوت بحيث يمكن إعادة برمجته للقيام بوظائف متعددة . ومن المُرجّح أن تنخفض تكلفة البرامج الروبوتية الجاهزة بتوزيعها على عدد كبير من مستخدمى الروبوتات المنزلية ، وبذلك يمكن تطوير هذه البرامج على أسس تسويقية أسوة بما يحدث لبرامج الحواسيب الشخصية .

ومن الطريف أيضا إمكان استخدام الروبوتات فى الأعمال الخاصة برعاية الحدائق المنزلية من إزالة الأعشاب وتشذيب الحشائش ونثر الأسمدة والمبيدات وتقليم الأشجار . ويمكن عندئذ تزويد الروبوتات بمحرك احتراق داخلى يعمل بالجازولين أسوة بالمكنات الزراعية التى تؤدى أعمالا مشابهة .

وقد ينشأ الجدل بين أفراد الأسرة فى المستقبل حول ما إذا كان من الأفضل اقتناء روبوت منزلى بدلا من شراء سيارة جديدة ، إذ من المتوقع ألا يزيد سعر الروبوت المنزلى على سعر السيارة فى المستقبل القريب .

١٠ - *استخدام الروبوت فى الزراعة :*

رغم تزايد إمكانات الميكنة الزراعية بدرجة كبيرة على مدى نصف القرن الماضى ، فإنه مازالت توجد فرص كبيرة أمام التقنيات عالية الأتمتة فى المجال الزراعى .

ويتوقع اليابانيون إمكان قيام « الفلاح » الروبوتى فى المستقبل بعمليات الحصاد ، وتمهيد وحرث التربة ، والتسميد ، ونثر المبيدات الحشرية ، وجمع الأسمدة والمخلفات العضوية ، ورعاية الغابات .

وقد ظهرت بعض المبادرات لاستخدام الروبوتات ، على المستوى البحثى ، فى عمليات « جز » صوف الخراف فى نيوزيلندا واستراليا ، حيث من المنتظر تطوير هذه الروبوتات وإنتاجها على النطاق التجارى خلال العقد القادم .

ومن أطرف مانُشر حول بحوث استخدام الروبوتات فى الأغراض الزراعية ما أُعلن فى الدنمرك عن روبوتات تقوم بتقليد الحشرات لتحقيق أهداف التنمية الزراعية . فقد ابتكر فريق من العلماء هناك نحلة صناعية يمكنها تقليد رقصات النحلة الطبيعية . فمن الأمور التى أثارت جدلا بين العلماء دور الرقص فى التخاطب بين النحل . وحسما للأمر ، جرى تصميم روبوت على شكل نحلة ، وتمت برمجته على نحو يؤدى معه ذات الحركات التى تؤديها النحلة عند رغبتها فى إرشاد أخواتها إلى مصادر جديدة للغذاء . ونجحت التجربة حيث استطاع النحل الطبيعى الوصول إلى مكان الغذاء بإرشاد هذه النحلة الصناعية .

وقد عكف العلماء أيضا على تصميم روبوت على شكل الخنفساء . أما لماذا قاموا بذلك ؟ فالسبب هو « الخنفساء جامعة الضباب » . فقد لوحظ فى المناطق الساحلية الصحراوية فى ناميبيا ، حيث ينتقل بخار الماء المتصاعد من المحيط ويمتزج بالجو فوق الرمال مكونا الضباب عند هبوط درجة الحرارة ليلا ، أن هناك نوعا من الخنافس يقف على رأسه ويأخذ فى ركل الضباب بسرعة مذهلة فيتكثف وينزلق على جسمه فيشرب منه حتى يرتوى ثم يدفن نفسه فى الرمل المبتل قبل سطوع الشمس فيحمى نفسه من حرارتها المحرقة . وقد صمم العلماء الروبوت على هيئة الخنفساء إلا أنه مزود بفرشاة دوارة بها آلاف الشعيرات المصنوعة من الألياف الزجاجية الدقيقة ، وذلك بهدف تقليد الخنفساء جامعة الضباب فى جمع كميات وفيرة نسبيا من المياه . ويستطيع الروبوت الواحد جمع مابين خمسة إلى عشرة لترات من الماء كل يوم تبعا لحالة الجو . وبذلك يمكن تحويل ٢٠ كيلو مترا مربعا من الصحراء إلى واحة خضراء باستخدام ٢٠٠٠ من الخنافس الروبوتية .

إن ماقدمناه فيما سبق لايعدو أن يكون تصورا قائما على الواقع الحالى لما يمكن أن يكون عليه شأن الروبوتية فى القرن القادم ، وقد يُحقق العلماء فى المستقبل من التقدم التقنى مايصبح هذا التصور إلى جانبه أمرا بالغ التواضع . ومن المحتمل كذلك أن تطرق الروبوتات أبوابا جديدة لم نتعرض لها فى هذا الفصل نظرا لعدم وجود إرهاصات معاصرة تبرر إمكان استخدام الروبوتات فيها .

الفصل الخامس

متطلبات نقل التقنيات الروبوتية
إلى الأسواق العربية

لايختلف اثنان حول تباين الظروف الاقتصادية والاجتماعية والتقنية بين الدول العربية كمجموعة وبين التكتلات الصناعية المتقدمة فى الغرب والشرق . وكذلك حول تباين هذه الظروف بين الأقطار العربية بعضها البعض .

ويتوقف التنبؤ بنجاح انتشار الروبوتات فى المجالات الصناعية والخدمية فى العالم العربى ، فى المدى القريب والبعيد ، على دراسة الخلفية التقنية والاقتصادية والاجتماعية للدول العربية ، دراسة وافية تشمل العناصر المختلفة للتحليل الاقتصادى للتطبيقات الروبوتية ، والخلفية التقنية للأسواق المرشحة لهذه التطبيقات ، ومراجعة المتاح من الآلات الروبوتية فى الأسواق العالمية لاختيار الأكثر مواءمة منها لأجواء التطبيق ، والتأكد أحيانا من وجود سوابق استخدام للروبوتات فى بعض الأقطار ، وتشمل كذلك الاعتبارات الهندسية ، من ناحية المقدرة على استيعاب عناصر المشروع الروبوتى من حيث التركيب والتدريب والصيانة ومراعاة الأمان الصناعى والمدنى وتفوق الخلفية الاجتماعية وظروف العمالة وفى أحيان كثيرة الظروف التقنية من ناحية تأثيرها المباشر على استمرارية وانتشار التطبيق الروبوتى فى بلد ما . وتشمل هذه الخلفية دراسة المزايا التى تتمتع بها التطبيقات الروبوتية من حيث المقدرة على رفع كفاية الإنتاج وتعظيم الأصول الرأسمالية ، وتأثير انتشار الروبوتات على العمالة المباشرة والعمالة الماهرة ، وتهيئة الاتحادات العمالية لتقبل الآثار الناجمة عن استخدام الروبوتات وإقناعها بمزايا هذا الاستخدام من ناحية تحسين بيئة العمل ودرء المخاطر وتحقيق مرتبة أفضل فى مجال المنافسة الدولية ، إضافة إلى المزايا المترتبة على رفع مستوى الأداء فى القطاعات الخدمية .

وسوف نتعرض فيما يلى بشىء من التفصيل لكل من العوامل السابقة بهدف الإحاطة بها ، وتكوين تصور شامل عن إمكانات نقل التقنيات الروبوتية إلى الأسواق العربية .

أولا : المتطلبات التقنية الاقتصادية لنقل التقنيات الروبوتية

التحليل الاقتصادى للتطبيقات الروبوتية

تفوق الاعتبارات الاقتصادية فى أهميتها العديد من المناحى التقنية والهندسية فيما يختص بنجاح المشروعات الروبوتية . ولاتختلف هذه المشروعات فى

أساليب التحليل الاقتصادى عن غيرها من المشروعات الهندسية الأخرى ، إلا فيما يتعلق ببعض التفصيلات ذوات الصلة بطبيعة أداء الآلة الروبوتية ومواقع استخدامها .

ويلزم لعمل التحليل الاقتصادى توافر بعض المعلومات الأساسية حول المشروع الروبوتى ، مثل طبيعة المشروع ، من حيث كونه مشروعا جديدا غير مسبوق ببنية صناعية قائمة ، أو من حيث كونه تعديلا فى بعض العمليات الصناعية المُنتِجة بالفعل رغبة فى رفع كفاءة هذه العمليات . كذلك يتطلب الأمر معرفة التكلفة الإجمالية للتركيبات الروبوتية ، والدورة الزمنية للعملية الإنتاجية ، وقيمة العائد المالى والفوائد المترتبة على تنفيذ المشروع الروبوتى .

وفى حالة المشروعات الجديدة ، يجرى طرح البديل الروبوتى كأحد البدائل التى يمكن على أساسها تصميم المشروع . وينبغى فى هذه الحالة عقد مقارنة اقتصادية لجميع البدائل فى إطار المعايير الاستثمارية المتاحة واختيار أفضلها . بغض النظر عن وجود أى توجهات مُسبقة بشأن اختيار البديل الروبوتى .

أما فى حالة المشروعات القائمة بالفعل ، والتى تجرى فيها عادة العمليات الإنتاجية بشكل ما من الأشكال اليدوية ، فالأمر يتطلب تقويم البديل الروبوتى فى ضوء الكفاءة والتكلفة الفعليتين للأساليب اليدوية القائمة ، بغض النظر عن المزايا المطلقة للتطبيق الروبوتى . وترجح عادة كفة الروبوتات كلما ساءت كفاءة التنفيذ اليدوى وزادت تكلفته .

ويمكن بوجه عام تقسيم بيانات التكلفة الخاصة بإجراء التحليل الاقتصادى إلى بيانات خاصة بالتكاليف الاستثمارية ، وأخرى خاصة بتكاليف التشغيل . وفيما يلى تفصيل كل منها :

<u>(أ) التكاليف الاستثمارية :</u>

١ - تكاليف شراء الروبوت - وتشمل الثمن الأساسى للروبوت مع جميع المستلزمات التى تكفل أداء الوظيفة المنوطة به (باستثناء المؤثرات الطرفية) .

٢ - التكاليف الهندسية - وتشمل تكاليف التخطيط والتصميم اللذين يقوم بهما الطاقم الهندسى للشركة صاحبة المشروع الروبوتى .

٣ - تكاليف التركيبات - وتشمل تكاليف العمالة والمواد اللازمة لتجهيز الموقع (إمداد المرافق وتجهيز الأرضية) .

٤ ـ تكاليف الأدوات الخاصة ـ وتشمل تكاليف المؤثرات الطرفية ومكامن المشغولات والمثبتات الأخرى والعدد اللازمة لتشغيل الوحدة .
٥ ـ تكاليف نثرية ـ وتشمل أى مصروفات إضافية ، غير السابقة ، يحتاجها إتمام التطبيق الروبوتى .

(ب) تكاليف التشغيل وقيمة الوفر :

٦ ـ تكاليف العمالة المباشرة ـ وتشمل أجور العمالة اللازمة لتشغيل الوحدة الروبوتية بما فى ذلك المزايا النقدية الهامشية ، حيث تستبعد فقط التكاليف الفوقية غير المباشرة .
٧ ـ تكاليف العمالة غير المباشرة ـ وتشمل تكاليف الإشراف والبرمجة والضبط والمصروفات الشخصية الأخرى غير المتضمنة فى البند السابق .
٨ ـ تكاليف الصيانة ـ وتشمل جميع الأعباء المالية المترتبة على صيانة وإصلاح الوحدة الروبوتية .
وقد فضلنا فصل هذا البند عن البند السابق رغم اشتماله على بعض التكاليف غير المباشرة ، وذلك بسبب احتوائه على بعض المصروفات الخاصة بقطع الغيار ومصروفات استدعاء مندوب المورد لإجراء الصيانة . ويمكن على وجه العموم ، فى حالة عدم توافر معلومات كافية عن هذا البند ، اعتبار تكاليف الصيانة السنوية نحو ١٠ بالمائة من سعر الشراء (بند ١) .
٩ ـ تكاليف المرافق ـ وتشمل عادة تكاليف الكهرباء والغاز والهواء المضغوط ومياه التبريد . وهى عادة ضئيلة القيمة إذا ماقورنت بالتكاليف السابقة .
١٠ ـ تكاليف التدريب ـ يمكن أحيانا اعتبار تكاليف التدريب تكاليف استثمارية ، إذ أن التدريب على أعمال التركيب يجرى عادة فى المراحل الأولى للتركيب ، إلا أنه من الضرورى مراعاة استمرارية التدريب . ولذلك تم حصر تكاليفه فى إطار المصروفات الجارية .

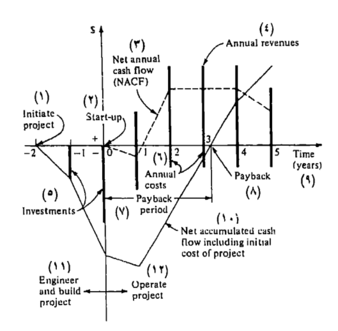
وتجدر الإشارة إلى أنه فى العديد من التطبيقات الروبوتية يمكن أن تزيد التكاليف الهندسية على تكاليف شراء الروبوتات أو تتساوى معها .

وقد يفضل فى كثير من الأحيان ، عند حساب تكاليف التشغيل ، الاكتفاء بتحديد قيمة الوفر المتوقع الناتج عن الحالات المختلفة لاستخدام الروبوت مقارنة بالحالة الراهنة ، وذلك بدلا من فصل تكاليف التشغيل لكل حالة وبيان كل منها على حدة .

ومن أمثلة ذلك ، تحديد القيمة المالية للوفورات المترتبة على خفض كمية

التالف ، وتحقيق بعض المزايا الإنتاجية مثل رفع جودة المنتج وزيادة سعره تبعا لذلك .

ويبين شكل (٥ ـ ١) كيفية توزيع التكاليف الاستثمارية وتكاليف التشغيل على مدى عمر التركيبات الروبوتية .



شكل (٥ ـ ١) الدورة الزمنية للتدفقات النقدية على مدى عمر المشروع الروبوتى

١ ـ بدء بلورة المشروع ، ٢ ـ بداية التشغيل ، ٣ ـ التدفق النقدى السنوى الصافى ، ٤ ـ العوائد السنوية ، ٥ ـ الاستثمارات ، ٦ ـ التكاليف السنوية ، ٧ ـ فترة الاسترداد ، ٨ ـ الاسترداد ، ٩ ـ الزمن (بالسنوات) ، ١٠ ـ التدفقات النقدية المتراكمة الصافية شاملة تكلفة المشروع الابتدائية ، ١١ ـ الأعمال الهندسية وتنفيذ المشروع ، ١٢ ـ تشغيل المشروع .

يلاحظ من الشكل ، أنه فى الفترة السابقة على بدء تشغيل التركيبات الروبوتية يجرى دفع التكاليف الاستثمارية دون الحصول على عائد فورى مقابل ، كذلك تبدأ إضافة التكاليف الخاصة بالتشغيل منذ لحظة بدء التطبيق الروبوتى فى العمل ، وتستمر هذه الإضافة طوال عمر التطبيق إلا أنه يبدأ تدريجيا تحقيق عائد تفوق قيمته عدة مرات تكاليف التشغيل ، بحيث نصل إلى نهاية الفترة الزمنية التى يتساوى عندها التدفق الصافى المتراكم مع إجمالى التكاليف الاستثمارية وتكاليف التشغيل ، وتعرف هذه الفترة بفترة الاسترداد payback period ، ويتبعها عادة ، وحتى نهاية عمر التطبيق ، تراكم التدفقات النقدية الصافية مع استمرار الاستفادة من التركيبات

الروبوتية . ويمكن الحكم على الكفاءة الاقتصادية للاستثمار فى المجال الروبوتى بحسب قصر فترة الاسترداد ، إذ تزداد الكفاءة كلما قصرت هذه الفترة .

إلا أن فترة الاسترداد ليست هى المؤشر الأوحد ، أو الطريقة الوحيدة لقياس كفاءة الاستثمار فى المجال الروبوتى ، حيث توجد طرق أخرى للتحليل الاقتصادى ، مثل طريقة « التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة » ، وطريقة « العائد على الاستثمار » .

وعلى أى حال ، قد يؤدى استخدام إحدى هذه الطرق دون غيرها إلى تغيير القرار بشأن الاستثمار فى المجال الروبوتى ، وذلك فى بعض الحالات الخاصة ، كما قد يحدث فى أحيان كثيرة عدم تأثير الطريقة المتبعة فى التحليل الاقتصادى على طبيعة هذا القرار ، وإن أظهر بعضها عددا من المزايا أو المساوىء الإضافية من الناحية الكمية . ونظرا لأهمية اختيار طريقة التحليل الاقتصادى المناسبة ، نضع بين يدى القارىء غير المتخصص موجزا لكل من الطرق الثلاث مُدعِّمين ذلك ببعض الأمثلة الرقمية التى تُيسّر الإحاطة بالجوانب الخاصة بكل منها .

طريقة فترة الاسترداد *PAYBACK METHOD* :

تُعرف فترة الاسترداد بأنها الفترة الزمنية اللازمة لتساوى التدفقات النقدية الصافية المتراكمة مع القيمة الإجمالية للاستثمارات المستخدمة فى المشروع . فإذا افترض ثبوت التدفق النقدى السنوى الصافى من سنة إلى أخرى فإنه يمكن حساب فترة الاسترداد بالسنة من العلاقة البسيطة التالية :

$$\text{ن} = \frac{\text{ك}}{\text{ق}} \qquad (٥ - ١)$$

حيث ك - إجمالى التكلفة الاستثمارية

ق - التدفق النقدى السنوى الصافى (بنفس وحدات ك)

وقد يحدث فى الكثير من المشروعات الاستثمارية تغير فى قيمة التدفق النقدى من سنة لأخرى ، وعلى ذلك يمكن تعديل المعادلة السابقة لتصبح على الصورة :

$$\sum_{\text{ر} = ١}^{\text{ن}} \text{ق}_{\text{ر}} + (-\text{ك}) = \text{صفر} \qquad (٥ - ٢)$$

حيث $\sum_{ر=1}^{ن}$ ق ر = مجموع التدفقات النقدية السنوية من السنة الأولى إلى السنة النونية (ن)

ويلاحظ أن وضع إشارة سالبة لإجمالى التكلفة الاستثمارية ينسجم مع ما تعارف عليه الاقتصاديون من اعتبار التكاليف سالبة واعتبار العوائد موجبة .

وقد افتُرض فى جميع الأحوال تخصيص الاستثمارات فى بداية السنة ، والحصول على العائد ، أو التدفق النقدى السنوى ، فى نهايتها .

وتميل غالبية الشركات المستثمرة إلى تبنى المشروعات التى تقل فترة الاسترداد لها عن ثلاث سنوات . وبوجه عام ، يُعتبر المشروع الذى تَسترد استثماراته فى غضون السنة الواحدة مشروعا ممتازاً .

ولنفترض الآن وجود مشروع روبوتى تبلغ تكلفة معداته ٢٠٠٠٠٠ دولار أمريكى ، ويحتاج سنويا إلى تكاليف تشغيل وصيانة فى حدود ٤٠٠٠٠ دولار أخرى .

فإذا كان من المتوقع الحصول على عائد سنوى مقداره ١٣٥٠٠٠ دولار بعد تنفيذ المشروع ، وكان العمر الافتراضى للتركيبات الروبوتية نحو ٥ سنوات ، فإنه يمكن اعتبار :

التدفق النقدى السنوى الصافى = ١٣٥٠٠٠ − ٤٠٠٠٠ = ٩٥٠٠٠ دولار

وتكون فترة الاسترداد بحسب المعادلة السابقة :

$$ن = \frac{٢٠٠٠٠٠}{٩٥٠٠٠} = ٢,١ \text{ سنة}$$

ومن عيوب هذه الطريقة فى التحليل الاقتصادى للمشروعات الروبوتية ، إهمالها للقيمة الزمنية للنقود . وبالتالى ، عدم أخذها فى الاعتبار ما تهدف إليه الشركات من ضرورة تحقيق عائد أدنى من استثماراتها ، وهذا لابد أن يزيد فى قيمته على العائد البنكى السائد فى بلد التطبيق .

طريقة التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة

EQUIVALENT UNIFORM ANNUAL COST METHOD

يجرى طبقا لهذه الطريقة تحويل كافة الاستثمارات الحالية والمستقبلية ، وكذلك

جميع التدفقات النقدية ، إلى ما يكافئها من تدفقات نقدية منتظمة على مدى العمر المتوقع للمشروع ، وذلك باستخدام المعاملات المختلفة للفوائد الشائعة فى الحسابات الاقتصادية للمشروعات الهندسية .

وتبدأ الحسابات عادة باتخاذ قيمة محددة للحد الأدنى لمعدل الاسترجاع rate-of-return الذى تقبله الشركة على استثماراتها ، والذى تُقرر على أساسه ما إذا كان من الممكن قبول المشروع الروبوتى من وجهة النظر الاقتصادية . ومن الشائع فى الوقت الحالى اعتبار القيمة المناسبة لهذا المعدل من ٢٠ إلى ٥٠ بالمائة . ويجرى بعد ذلك تقدير قيمة سنوية مكافئة ومنتظمة للعائد الذى كان بالإمكان الحصول عليه إذا وظفت تكاليف المشروع الاستثمارية بحيث تحقق معدل الاسترجاع المطلوب (وليكن ٣٠٪ على سبيل المثال) . أى فيما لو وضعت التكاليف الاستثمارية للمشروع فى أحد البنوك التى تعطى عائدا افتراضيا يعادل ٣٠٪ على مدى سنوات العمر الافتراضى للمشروع . ويجرى تجميع هذه العوائد السنوية ثم قسمتها على عدد سنوات العمر الافتراضى للمشروع للحصول على القسط السنوى المكافىء للتكاليف .

ويمكن بسهولة تحديد قيمة هذا القسط بضرب التكاليف الاستثمارية الإجمالية فى معامل يسمى « معامل استرجاع رأس المال » (م) capital recovery factor

حيث :

$$م = \frac{ف \,(\,١ + ف\,)^{ن}}{(\,١ + ف\,)^{ن} - ١} \qquad (\,٥ - ٣\,)$$

وذلك باعتبار ف = الفائدة التى تقبلها الشركة على استثماراتها محسوبة فى صورة كسرية (٠,٠٣ على سبيل المثال) ، وكذلك باعتبار ن = عدد سنوات العمر الافتراضى للمشروع .

وعموما توجد فى العديد من المراجع المحاسبية المتخصصة جداول يمكن منها تحديد قيمة هذا المعامل لعدد متغير من السنوات وعند قيم مختلفة للفائدة (٢٠٪ ، ٣٠٪ .. الخ) .

يُفترض فى كل سنة من سنوات العمر الافتراضى ثبوت قيمة العائد السنوى على التكاليف ، وكذلك ثبوت قيمة التدفق النقدى السنوى الصافى الناتج عن تطبيق المشروع (بعد خصم التكاليف السنوية للتشغيل والصيانة) .

وتُحسب التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة بجمع قيمة العائد السنوى على التكاليف (بإشارة سالبة) على قيمة التدفق النقدى السنوى الصافى (بإشارة موجبة ، حيث يزيد العائد عادة على مصروفات التشغيل) ويعتبر المشروع غير مقبول إذا ساوى حاصل الجمع صفرا أو أية قيمة سالبة . ويمكن فيما عدا ذلك قبول المشروع من الناحية الاقتصادية . ولزيادة الإيضاح ، يمكن تطبيق طريقة التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة على المثال المذكور فى طريقة فترة الاسترداد ، على أساس افتراض قبول الشركة لنسبة ٣٠٪ كعائد على استثماراتها فى المشروع الروبوتى .

ويمكن حساب « معامل استرجاع رأس المال » (م) من المعادلة (٥ ـ ٣) على أساس اعتبار ف = ٠,٣ و ن = ٥ (عدد سنوات العمر الافتراضى للمشروع) :

م = $\frac{٠,٣ \; (١ + ٠,٣)^{٥}}{(١ + ٠,٣)^{٥} - ١}$ = ٠,٤١٠٥٨

وبذلك يكون القسط السنوى (ث) للعائد على التكاليف الاستثمارية :

ث = التكلفة الاستثمارية × م = ٢٠٠٠٠٠ × ٠,٤١٠٥٨ = ٨٢١١٦ دولارا

كذلك يكون التدفق النقدى السنوى الصافى (ق) الناتج عن تنفيذ المشروع :

ق = العائد السنوى − تكاليف التشغيل والصيانة

= ١٣٥٠٠٠ − ٤٠٠٠٠ = ٩٥٠٠٠ دولار

وبذلك تكون التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة :

ك = ق − ث (٥ ـ ٤)

ك = ٩٥٠٠٠ − ٨٢١١٦ = ١٢٨٨٤ دولارا

ويمكن بذلك قبول المشروع ، حيث إن قيمة « ك » أكبر من الصفر .

وفى هذه الحالة لم يختلف القرار الخاص بتنفيذ المشروع الروبوتى رغم تغيير طريقة التحليل الاقتصادى له من طريقة فترة الاسترداد إلى طريقة التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة .

تختلف هذه الطريقة عن سابقتها فى أنها تحدد قيمة معدل استرجاع رأس المال على أساس التكاليف والعوائد المقدرة ، أى أنها تنتهى بما بدأت به طريقة التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة . حيث يتيح ذلك ميزة مقارنة هذا المعدل فى ظروف اقتصادية متغيرة بالمعدل الذى ترتضيه الشركة لاستثماراتها .

وكما فى الطريقة السابقة يجرى استخدام المعادلة (٥ ـ ٤) التى تحدد قيمة التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة ، إلا أنه بدلا من تعيين قيمة ك بدلالة ق ، ث ، نبدأ بافتراض أن ك = صفر ، وبذلك يمكن مع معرفة قيمة ث تحديد قيمة ق التى تحقق الشرط الحرج للاستثمار ، أو بعبارة أخرى تحديد معدل الفائدة ف الذى يحقق هذا الشرط ، إذ أن بقية العوامل التى تدخل فى حساب ق ، مثل عدد سنوات العمل الافتراضى للمشروع وكذلك التكلفة الاستثمارية الإجمالية للمشروع ، تظل كما هى فى الطريقة السابقة دون تغيير .

ويمكن إيضاح ذلك بمتابعة استخدام الطريقة الجديدة فى حساب المشروع الروبوتى المذكور فى بند أ ، ب دون تغيير المعطيات الأساسية للحساب .

بوضع ك = صفر فى معادلة (٥ ـ ٤)
تكون :

ق = ٩٥٠٠٠ دولار
وباعتبار ث = التكلفة الاستثمارية الإجمالية × م

تكون م = $\frac{٩٥٠٠٠}{٢٠٠٠٠٠}$ = ٠,٤٧٥

وبمعرفة قيمة معامل استرجاع رأس المال (م) وباعتبار عدد سنوات العمر الافتراضى للمشروع ٥ سنوات (كما فى الطريقة السابقة) يمكن إيجاد معدل الاسترجاع ف على أساس المعادلة (٥ ـ ٣) . ويكون من الأسهل الرجوع للجداول التى تعطى قيمة م عند قيم مختلفة للمعدل ف وعدد السنوات ن ، لمعرفة قيمة ف المقابلة لقيمة م = ٠,٤٧٥ .

بالرجوع لهذه الجداول ، نجد أنه عند ن = ٥

فإن م = ٠,٤٥٠٤٦ عند ف = ٠,٣٥

و م = ٠,٤٩٢٣٦ عند ف = ٠,٤٠

وبذلك يمكن على وجه التقريب اعتبار ف = ٠,٣٨ عند م = ٠,٤٧٥

وبذلك يمكن بصورة أدق معرفة مدى تجاوز معدل الاسترجاع الحقيقى للمشروع الروبوتى (٠,٣٨) الحد الأدنى المقبول لدى الشركة للعائد على استثماراتها (٠,٣٠) . وعليه أيضا ، فإن القرار بقبول المشروع لم يتغير ، رغم تغير طريقة التحليل الاقتصادى من أ إلى ب إلى جـ ، إلا أن كل طريقة من هذه الطرق أوضحت بعض الجوانب الاقتصادية المختلفة ، وخاصة فيما يتعلق بتأثير سعر الفائدة وعمر المشروع على فعاليته الاقتصادية . لقد روعى فى اختيار الأمثلة السابقة عدم التعرض للتعقيدات التى تصاحب عمليا تحديد العناصر المختلفة للتكاليف والتدفقات النقدية بهدف توضيح الفكرة الأساسية من طريقة التحليل الاقتصادى . إلا أنه ينبغى ، والموضوع الأساسى للكتاب هو الروبوت ، أن نتعرض بتفصيل أكثر للخصائص المميزة للمشروع الروبوتى من الناحية الاقتصادية والتى تميزه عن غيره من المشروعات الهندسية التقليدية .

بعض الخصائص الاقتصادية المميزة للمشروع الروبوتى :

يتميز المشروع الروبوتى عن غيره من المشروعات الهندسية ببعض الخصائص التى يُمكن تقويم آثارها الاقتصادية بصورة كمية ، على حين يصعب فى أحيان كثيرة عمل تقويم كمى للآثار الاقتصادية المترتبة على بعض الخصائص الأخرى .

وسنبدأ بإعطاء أمثلة للآثار الاقتصادية سهلة التقويم :

(أ) ***إعادة استخدام الروبوت بعد انتهاء الغرض الإنتاجى للمشروع :*** يُمكن فى أحيان كثيرة الاستفادة من الروبوت بعد استكمال الدورة الإنتاجية الأساسية التى استهدفها المشروع . ولنأخذ مثالا على ذلك ، المشروع الذى سبقت دراسته فى بداية هذا الفصل ، فلو أن المدة المقدرة للعمر الافتراضى للمشروع الإنتاجى خمس سنوات ، فإنه من الممكن امتداد العمر الافتراضى للتركيبات الروبوتية إلى ثمانى سنوات ، ويفترض أنه بعد مرور ٨ سنوات لايمكن التعويل على التركيبات الروبوتية بسبب التقادم وعدم إمكان صيانتها بشكل ملائم ، وصعوبة

الحصول على قطع الغيار الخاصة بها لتوقف إنتاج النوع بسبب التحديث . وبوجه عام يمكن اعتبار القيمة المالية لهذه التركيبات مساوية للصفر بعد انقضاء ٨ سنوات .

وهنا تنشأ ضرورة تقدير القيمة المالية للتركيبات الروبوتية بعد فترة ٥ سنوات التى ينتهى عندها المشروع الانتاجى .

فإذا افترضنا توزيع التكلفة الاستثمارية للتركيبات الروبوتية على سنوات العمر الافتراضى لهذه التركيبات بالتساوى فإن :

$$\text{قسط الإهلاك السنوى} = \frac{٢٠٠٠٠٠}{٨} = ٢٥٠٠٠ \text{ دولار}$$

وبذلك تكون القيمة المالية (هـ) لهذه التركيبات بعد انقضاء ٥ سنوات :

$$\text{هـ} = ٢٠٠٠٠٠ - ٥ \times ٢٥٠٠٠ = ٧٥٠٠٠ \text{ دولار}$$

لابد عندئذ من إضافة القسط السنوى المكافىء لإيداع هذه القيمة بأجل فى معادلة التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة التى يتحدد على أساسها الحكم على الكفاءة الاقتصادية للمشروع .

ويمكن حساب قيمة القسط بضرب هـ فى معامل الإيداع لأجل ج الذى يحسب من العلاقة :

$$\text{ج} = \frac{\text{ف}}{(١ + \text{ف})^{\text{ن}} - ١} \qquad (٥ - ٥)$$

حيث ف = الفائدة التى تقبلها الشركة على إيداعاتها ،
ن = عدد السنوات التى توزع عليها قيمة هـ

وتوجد أيضا فى المراجع المتخصصة جداول خاصة لتيسير الحصول على قيمة ج بدلالة ن ، ف أو العكس . ويمكن الآن إعادة كتابة المعادلة الخاصة بحساب التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة ، آخذين بالاعتبار تأثير القيمة المالية للتركيبات الروبوتية فى نهاية فترة ٥ سنوات المحددة لعمر المشروع :

ك = − ٢٠٠٠٠٠ × م +(١٣٥٠٠٠ − ٤٠٠٠٠) + ٧٥٠٠٠ × ج

حيث ٢٠٠٠٠٠ = التكلفة الاستثمارية الإجمالية للتركيبات (سالبة)

و ١٣٥٠٠٠ = العائد السنوى للمشروع بعد التشغيل

و ٤٠٠٠٠ = تكاليف الصيانة السنوية (سالبة)

و ٧٥٠٠٠ = القيمة المالية للتركيبات الروبوتية بعد ٥ سنوات

يحتاج الأمر إلى اختبار قيمة ك عند قيم مختلفة لكل من م ، ج (عند ن = ٥ ، ف = ٠,٤٠ أو ٠,٣٥)

جدول (٥ ـ ١) معامل استرجاع الاستثمار (م) ، ومعامل الإيداع لأجل (ج) لعدد سنوات (ن) ومعدل فائدة (ف) (أقساط سنوية منتظمة)

ف	ن	م	ج
٪٢٠	١	١,٢٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠٠
	٢	٠,٦٥٤٥٥	٠,٤٥٤٥٥
	٣	٠,٣٧٤٧٣	٠,٢٧٤٧٣
	٤	٠,٣٨٦٢٩	٠,١٨٦٢٩
	٥	٠,٣٣٤٣٨	٠,١٣٤٣٨
٪٢٥	١	١,٢٥٠٠٠	١,٠٠٠٠٠٠
	٢	٠,٦٩٤٤٤	٠,٤٤٤٤٤
	٣	٠,٥١٢٣٠	٠,٢٦٢٣٠
	٤	٠,٤٢٣٤٤	٠,١٧٣٤٤
	٥	٠,٣٧١٨٥	٠,١٢١٨٥
٪٣٠	١	١,٣٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠٠
	٢	٠,٧٣٤٧٨	٠,٤٣٤٧٨
	٣	٠,٥٥٠٦٣	٠,٢٥٠٦٣
	٤	٠,٤٦١٦٣	٠,١٦١٦٣
	٥	٠,٤١٠٥٨	٠,١١٠٥٨

ف	ن	م	ج
٣٥٪	١	١,٣٥٠٠٠	١,٠٠٠٠٠٠
	٢	٠,٧٧٥٥٣	٠,٤٢٥٥٣
	٣	٠,٥٨٩٦٦	٠,٢٣٩٦٦
	٤	٠,٥٠٠٧٦	٠,١٥٠٧٦
	٥	٠,٤٥٠٤٦	٠,١٠٠٤٦
٤٠٪	١	١,٤٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠٠
	٢	٠,٨١٦٦٧	٠,٤١٦٦٧
	٣	٠,٦٢٩٣٦	٠,٢٢٩٣٦
	٤	٠,٠٤٠٧٧	٠,١٤٠٧٧
	٥	٠,٤٩١٣٦	٠,٠٩١٣٦
٤٥٪	١	١,٤٥٠٠٠	١,٠٠٠٠٠٠
	٢	٠,٨٥٨١٦	٠,٤٠٨١٦
	٣	٠,٦٦٩٦٦	٠,٢١٩٦٦
	٤	٠,٥٨١٥٦	٠,٢٣١٥٦
	٥	٠,٥٣٣١٨	٠,٠٨٣١٨
٥٠٪	١	١,٥٠٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠٠
	٢	٠,٩٠٠٠٠	٠,٤٠٠٠٠
	٣	٠,٧١٠٥٣	٠,٢١٠٥٣
	٤	٠,٦٢٣٠٨	٠,١٢٣٠٨
	٥	٠,٥٧٥٨٣	٠,٠٧٥٨٣

ملحوظة :

$$م = \frac{ف\,(١ + ف)^{ن}}{(١ + ف)^{ن} - ١}$$

$$،\quad ج = \frac{ف}{(١ + ف)^{ن} - ١}$$

بحساب م من المعادلة (٥ – ٣) ، ج من المعادلة (٥ – ٥) نجد مايلى :

عند نسبة فائدة سنوية = ٠,٣٥

م = ٠,٤٥٠٤٦ ، ج = ٠,١٠٠٤٦

وبذلك يكون

ك = – ٢٠٠٠٠٠ × ٠,٤٥٠٤٦ + (١٣٥٠٠٠ – ٤٠٠٠٠) + ٧٥٠٠٠ × ٠,١٠٠٤٦ = ١٢٤٤٢,٥ دولار

وعند نسبة فائدة سنوية = ٠,٤٠

م = ٠,٤٩١٣٦ ، ج = ٠,٠٩١٣٦

ك = – – ٢٠٠٠٠٠ × ٠,٤٩١٣٦ + (١٣٥٠٠٠ – ٤٠٠٠٠) + ٧٥٠٠٠ × ٠,٠٩١٣٦ = ٣٥٨٠ دولارا

وعند نسبة فائدة سنوية = ٠,٤٥

م = ٠,٥٣٣١٨ ، ج = ٠,٠٨٣١٨

وبذلك تكون : ك = ٥٣٩٧,٥ دولار أمريكى

يمكن مما سبق توقع وصول قيمة ك إلى الصفر عند نسبة فائدة سنوية = ٤٢,٠.

ويمكن بسهولة كذلك ملاحظة زيادة الحد الأدنى للفائدة السنوية الذى يمكن للشركة المستثمرة قبوله من ٠,٣٨ (انظر بند جـ السابق) إلى ٠,٤٢ ، إذا أخذ فى الإعتبار إمكان إعادة استخدام التركيبات الروبوتية فى أغراض أخرى بعد انقضاء فترة المشروع الأساسى . أى أن إعادة استخدام الروبوت يمكن اعتبارها من العناصر الإيجابية فى ترجيح استخدام التقنيات الروبوتية من وجهة النظر الاقتصادية .

(ب) ***تعاظم معدلات الإنتاج*** : تتميز الوسائل المؤتمتة عادة بمعدلات إنتاجية تفوق من الناحية الكمية الوسائل اليدوية . ويصدق نفس الشيء بالنسبة للتركيبات الروبوتية عندما تستخدم هذه التركيبات فى أتمتة الأعمال اليدوية . إذ يمكن للروبوت فى المعتاد العمل بأسلوب أسرع ولعدد ساعات أكبر مما يستطيعه العامل اليدوى ، وحتى فى الحالات التى تقصر فيها الإمكانات التقنية للروبوت عن التصرف بسرعة مماثلة لسرعة الاستجابة البشرية ، فإن العمل دون كلل

أو ملل على مدى ساعات طويلة يمكنه تعويض هذا القصور بحيث تأتى المحصلة النهائية فى مصلحة تعاظم معدلات الإنتاج .

ولذلك ينبغى عند إجراء التحليل الاقتصادى إدخال عنصر زيادة الإنتاج فى الاعتبار . ومن أسهل الطرق فى ذلك طريقة القيمة المضافة ، إذ يمكن بمعرفة القيمة التى يضيفها التشغيل إلى قيمة الوحدة المنتجة تقدير العوائد الاقتصادية للبدائل المختلفة .

وسوف نعود مرة أخرى للأمثلة الرقمية لبيان كيفية أخذ معدل الزيادة الإنتاجية فى الاعتبار عند مقارنة البدائل المختلفة .

لنفرض أنه من المطلوب استخدام وحدات روبوتية فى أحد الخطوط الإنتاجية بدلا من الوسائل اليدوية التقليدية . ولنفرض أن المعدل الإنتاجى للوحدات الروبوتية ٦٠٠ وحدة مقابل ٤٠٠ وحدة فى حالة الإنتاج اليدوى ، وأن القيمة المضافة لكل وحدة يجرى إنتاجها تقدر بنحو ٢ دولار . كذلك ، أن التكلفة الاستثمارية الإجمالية للوحدات الروبوتية ٣٥٠٠٠٠ دولار ، وأن التكلفة السنوية للتشغيل باستخدام هذه الوحدات ١١٥٠٠٠ دولار ، مقابل ٦٠٠٠٠ دولار تكلفة استثمارية إجمالية للوحدات اليدوية ، و ١٧٢٠٠٠ دولار كتكاليف تشغيل فى حالة النظام اليدوى .

يمكن فى كلتا الحالتين اعتبار العمر الافتراضى للمشروع الإنتاجى ٣ سنوات وأن الحد الأدنى الذى تقبله الشركة عائدا على استثماراتها ٢٥٪ . ويمكن كذلك اعتبار القيمة المالية للوحدات الروبوتية بعد مرور ٣ سنوات نحو ١٥٠٠٠٠ دولار .

المطلوب الآن ، إيجاد قيمة فترة الاسترداد ونسبة العائد على الاستثمار لكل من الخيارين المطروحين حتى يمكن مقارنتهما اقتصاديا .

إذا افترضنا أن عدد أيام التشغيل السنوية ٢٥٠ يوما . فإنه بالنسبة للنظام اليدوى :

قيمة عوائد التشغيل = (٤٠٠ وحدة / اليوم) × (٢٥٠ يوما / السنة) × (٢ دولار / وحدة منتجة)

= ٢٠٠٠٠٠ دولار / السنة

قيمة تكاليف التشغيل السنوى = ١٧٢٠٠٠ دولار

التدفق النقدى السنوى الصافى = ٢٠٠٠٠٠ − ١٧٢٠٠٠ = ٢٨٠٠٠ دولار
إجمالى التكاليف الاستثمارية = ٦٠٠٠٠ دولار
وبذلك تكون فترة الاسترداد (ن) :

$$ن = \frac{٦٠٠٠٠}{٢٨٠٠٠} = ٢,١٤ \text{ سنة}$$

بمساواة التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة بالصفر
ك = − ٦٠٠٠٠ × م + (٢٠٠٠٠٠ − ١٧٢٠٠٠) = صفر
فتكون :
م = ٠,٤٦٧ (معامل استرجاع رأس المال)

بالرجوع لجدول (٥ − ١) ، وعند فترة زمنية ن = ٣ سنوات ، م = ٠,٤٦٧ ، نجد أن قيمة معدل العائد على الاستثمار ف = ٢٠٪ تقريبا .

ويلاحظ أن هذا المعدل أقل من الحد الأدنى الذى تقبله الشركة على استثماراتها (٢٥٪) .

وننتقل الآن للبديل الروبوتى .

قيمة عوائد التشغيل = (٦٠٠ وحدة / اليوم) × (٢٥٠ يوما / السنة) × (٢ دولار / وحدة منتجة)
= ٣٠٠٠٠٠ دولار / السنة

التدفق النقدى السنوى الصافى = ٣٠٠٠٠٠ − ١١٥٠٠٠ = ١٨٥٠٠٠ دولار
إجمالى التكاليف الاستثمارية = ٢٠٠٠٠٠ دولار
وبذلك تكون فترة الاسترداد (ن) :

$$ن = \frac{٣٥٠٠٠٠}{١٨٥٠٠٠} = ١,٨٩ \text{ سنة}$$

لا تكفى فترة الاسترداد ، رغم قصرها ، للحكم على قبول الشركة للمشروع ، إذ يلزم تحليل معدل العائد على الاستثمار .

بمساواة التكلفة السنوية المنتظمة المكافئة بالصفر ، مع الأخذ فى الاعتبار القيمة المالية للتركيبات الروبوتية فى نهاية فترة السنوات الثلاث :
ك = − ٢٠٠٠٠٠ × م + (٣٠٠٠٠٠ − ١٥٠٠٠) + ١٠٠٠٠٠ × ج = صفر
حيث كل من م ، ج محددتان عند ن = ٣

يمكن باستخدام طريقة المحاولة والخطأ وجدول (٥ – ١) معرفة قيمة ف التى تحقق المعادلة :

١٨٥٠٠٠ + ١٥٠٠٠٠ × ج = ٣٥٠٠٠٠ × م أو

١٥٠ × ج + ١٨٥ = ٣٥٠ × م وذلك ،

عند فترة زمنية ن = ٣ سنوات

ومن جدول (٥ – ١)

ف	ج	م
٥٠٪	٠,٢١٠٥٣	٠,٧١٠٥٣
٤٥٪	٠,٢١٩٦٦	٠,٦٦٩٦٦
٤٠٪	٠,٢٢٩٣٦	٠,٦٢٩٣٦

عند ف = ٤٠٪ :

١٥٠ × ٠,٢٢٩٣٦ + ١٨٥ = ٢١٩,٤٠٠ ،

٣٥٠ × ٠,٦٢٩٣٦ = ٢٢٠,٢٧٦

وبذلك يمكن اعتبار معدل العائد على الاستثمار = ٤٠٪ فى حالة البديل الروبوتى ، مقارنا بمعدل = ٢٠٪ فى حالة البديل اليدوى ، رغم تقارب فترة الاسترداد لكل منهما (١,٨٩ سنة للبديل الروبوتى و ٢,١٤ سنة للبديل اليدوى) . فإذا أخذنا فى الاعتبار أن أقل عائد على الاستثمار تقبله الشركة ٢٥٪ ، نجد أنه لا مفر من اختيار البديل الروبوتى للعملية الإنتاجية .

بعض العوامل الأخرى التى يصعب تقويمها اقتصاديا :

كثيرا ما نصادف عند إجراء التحليل الاقتصادى للمشروع الروبوتى بعض البنود التى يصعب تحديد مقابل نقدى لها سواء فى جانب التكاليف أو فى جانب العائد . وقد يطيب للاقتصاديين أحيانا الإشارة إلى هذه العوامل باعتبارها تكاليف أو عوائد غير مباشرة . وهناك بعض المحاولات لإيجاد مقابل نقدى لهذه البنود غير المباشرة لا يتسع المقام للخوض فيها ، إلا أنه من المفيد سردها فيما يلى :

١ – تضاؤل المخزون بين العمليات :

يحدث هذا التضاؤل بسبب إمكان خفض زمن التشغيل فى حالة استخدام الوحدات الروبوتية، إذ يؤدى تقصير الدورة الإنتاجية ، وزيادة عدد « ورديات » العمل ، وإمكان دمج مجموعة من العمليات المنفصلة فى آلة روبوتية واحدة ، إلى نقص ملحوظ فى زمن التسليم بين العمليات وبعضها .

٢ – تضاؤل المخزون النهائى :

يؤدى استخدام الوحدات الروبوتية فى نظم التصنيع والتجميع إلى إتاحة الفرصة لتخفيض حجم الدفعات الإنتاجية بما يؤدى فى النهاية إلى تضاؤل مخزون المنتجات فى نهاية الخط .

٣ – الوفر فى المواد :

تزداد عادة كفاءة استخدام المواد فى العمليات الإنتاجية عند استخدام الروبوتات ، وبذلك يقل معدل استخدام المواد الخام لنفس كمية الإنتاج . ولنضرب مثلا على ذلك ؛ استخدام الروبوت فى أعمال رش الطلاءات ، إذ أثبتت الملاحظة العملية نقص معدلات استخدام مواد الطلاء فى حالة الرش الروبوتى مقارنة بمثيلتها فى حالات الطلاء اليدوى .

٤ – نقص معدلات المنتجات التالفة :

لاشك أن تدخل العوامل البشرية فى العمليات الإنتاجية يؤدى إلى حدوث أخطاء يصعب تلافيها ، وبالتالى ظهور منتجات معيبة فى مراحل الإنتاج المختلفة . وتؤدى الاستعانة بالتركيبات الروبوتية إلى زيادة درجة الانضباط من ناحية الوقت والموضع فى أية عملية إنتاجية ، مما يقلل التالف ويوفر المواد والطاقة .

٥ – رفع معدلات استخدام المعدات الإنتاجية القائمة :

عندما تستخدم الروبوتات فى أتمتة الإنتاج ، يزداد وقت إشغال المعدات ، إذ أن استخدام الروبوت فى القيام بأعمال تداول المواد وأعمال التشغيل المتواترة دون كلل ، يؤدى بالضرورة إلى زيادة عدد دورات التشغيل اليومية ونقص فترات الراحة التى تخصص عادة للعمالة البشرية .

٦ – نقص معدلات تداول المواد :

تقوم الروبوتات عادة بدمج مجموعة كبيرة من أعمال تداول المواد فى أعمال

التشغيل المعتادة دون الاحتياج لتخصيص آليات منفصلة أو للاستعانة بالعمالة البشرية ، فيزداد بذلك الوقت الصافى المخصص للإنتاج المباشر .

٧ - تخفيض مساحة مكان العمل :

يؤدى دمج أكثر من عملية تشغيل وتداول مواد فى آلة روبوتية واحدة إلى تخفيض الحيز الذى كان مقدراً له أن يُشغل بآليات أخرى للقيام بذات النشاط الإنتاجى .

ورغم صعوبة التقويم الاقتصادى للعوامل السابقة ، فإنه لا مفر من اللجوء إليه فى الحالات التى يؤدى فيها التحليل الاقتصادى للعناصر المعتادة للتكاليف والوفر إلى معدل عائدات استثمارية أقل من المعدل الذى تقبله الشركة المستخدمة للتطبيق الروبوتى .

بعض العوامل التى يستحيل تقريبا إخضاعها للتقويم الاقتصادى :

تصادفنا عند دراسة المشروعات الروبوتية بعض المزايا التى من المتيقن الحصول عليها باستخدام الروبوت مقارنة بالنظم الإنتاجية الأخرى ، إلا أنه يتعذر وضع مقابل مادى لها ، ومن أمثلة ذلك :

١ - التمتع بدرجة أفضل من الأمان نتيجة لإبعاد العمالة البشرية عن مواطن الخطر .
٢ - تجنب العديد من المشكلات الإنسانية التى تنشأ فى التجمعات العمالية بمواقع الإنتاج وتستغرق وقتا كبيرا من الإدارة العليا لحلها .
٣ - اكتساب ثقة العميل بسبب الانضباط فى مواعيد التسليم وتحسن الجودة نتيجة تجنب العوامل البشرية الطارئة .
٤ - استخدام عنصر « الإبهار » الناتج عن وجود الآليات الروبوتية فى خطوط الإنتاج فى اجتذاب العميل عند زيارته للمصنع فتزداد التعاقدات .
٥ - مرونة تغيير النشاط الإنتاجى باستخدام نفس التركيبات الروبوتية القائمة ، مما يؤدى إلى مرونة مقابلة فى الجداول الزمنية الخاصة بتسليم أنواع مختلفة من المنتجات لعدد كبير من العملاء .

ورغم عدم إمكان تحديد مقابل مادى مباشر للعوامل السابقة ، فإن ذلك لا ينفى ضرورة وضع هذه العوامل فى الاعتبار عند عمل استراتيجية متكاملة بعيدة المدى لاستخدام التقنيات الروبوتية فى الإنتاج .

وقد يكون من المفيد فى ختام عرض مكونات التحليل الاقتصادى للاستخدامات

الروبوتية ، أن نضع بين يدى القارىء أحد النماذج التى يمكنه الاستعانة بها فى الحكم على الآثار الاقتصادية المترتبة على تنفيذ المشروع الروبوتى فى أى موقع إنتاجى . ورغم عدم اشتمال النموذج المذكور على بعض التفصيلات الاقتصادية الخاصة بحسابات الإهلاكات والضرائب وأرباح وخسائر رأس المال ، فإنه من المأمول أن يوفى الغرض من حيث تنبيه القارىء إلى أهم العناصر التى جرى طرحها فيما سبق .

نموذج التحليل الاقتصادى للمشروعات الروبوتية

رقم المشروع	جهة الإعداد	التاريخ

(أ) التكاليف الاستثمارية

١ ـ تكلفة شراء الروبوت
٢ ـ التكاليف الهندسية
٣ ـ تكاليف التركيب
٤ ـ أدوات خاصة ومؤثرات طرفية
٥ ـ تكاليف نثرية
٦ ـ إجمالى التكلفة الاستثمارية (مجموع ١/٥)
٧ ـ القيمة المالية لأية معدات يستغنى عنها
٨ ـ رأس المال المطلوب فى حالة عدم وجود المشروع
٩ ـ إجمالى الاستثمارات التى أمكن تجنبها (٧ + ٨)

١٠ ـ إجمالى الاستثمارات الصافية (٦ ـ ٩)

(ب) تكاليف التشغيل والوفر

	التكلفة	الوفر
١١ ـ تكلفة العمالة المباشرة		
١٢ ـ تكلفة العمالة غير المباشرة		
١٣ ـ الصيانة		
١٤ ـ المرافق		
١٥ ـ التدريب		
١٦ ـ التخزين أثناء العمليات		
١٧ ـ تخزين المنتجات النهائية		
١٨ ـ المواد ومستلزمات الإنتاج		
١٩ ـ الخفض فى التالف والمستعاد		
٢٠ ـ استغلال المعدات		
٢١ ـ تداول المواد		
٢٢ ـ شغل المكان		

٢٣ ـ الأمان الصناعى (تقديرى)
٢٤ ـ المرونة (تقديرية)
٢٥ ـ عناصر أخرى (تذكر)

٢٦ ـ الإجمالى (من ١١/٢٥)

(جـ) بيانات أخرى

٢٧ ـ العمر الافتراضى لخدمة التركيبات	سنة
٢٨ ـ العمر الافتراضى للروبوت المستخدم	سنة
٢٩ ـ القيمة المالية للروبوت فى نهاية عمر التركيبات	
٣٠ ـ القيمة المالية لأية معدات أخرى فى نهاية المشروع	
٣١ ـ الحد الأدنى للنسبة المئوية للعائد المناسب للشركة	

(د) النتائج المحسوبة للتحليل

٣٢ ـ فترة الاسترداد	سنة
٣٣ ـ العائد على الاستثمار على مدى عمر المشروع	٪
٣٤ ـ التكالفة السنوية المنتظمة المكافئة	

الخلفية التقنية وسوابق الاستخدام :

تُعتبر الروبوتات من التقنيات المعقدة التى ينطوى استخدامها بنجاح على العديد من المشكلات الإدارية والتقنية واجبة الحل . ولذلك يتوقف نقل هذه التقنيات إلى الأسواق العربية على إجراء دراسة وافية لمدى استعداد المواقع المرشحة ، من ناحية الخلفية التقنية ، على استقبال الروبوت والاستفادة من إمكاناته المتعددة .

ولا يمكن تصور اتخاذ قرار بشأن استخدام الروبوت سواء فى الصناعة أو فى الخدمات دون توفير المعلومات الخاصة بالتركيبات الروبوتية فى المواقع التى تحتاج إلى هذه المعلومات . فرغم صدور العديد من المراجع المتخصصة فى الروبوتية ، وتناقل المجلات العلمية والتجارية والنشرات الإخبارية التى تصدرها الشركات لكم كبير من المعلومات بالغة الأهمية فى مجال استخدام الروبوت ، فإن الأسواق العربية لا تتداول هذه المواد بالكم أو بالكيف الذى يهيئها لعصر الروبوتات .

لقد واجهت الدول الصناعية ، وما زالت تواجه ، بعض الصعوبات المتعلقة بتمهيد الخلفية الإنتاجية لاستقبال المشروع الروبوتى ، ومن المعتقد أن الدول العربية سوف تواجه صعوبات مثيلة وإن اختلفت فى درجاتها طبقا لاختلاف ظروف التقدم التقنى فى هذه الدول .

وسوف نسوق فيما يلى بعض العوامل المرتبطة بالخلفية التقنية وأثرها على اتخاذ القرار بشأن المشروع الروبوتى ، التى سبق للدول الصناعية أن واجهتها :

١ - مساندة الإدارة العليا فى المواقع المرشحة لتنفيذ المشروع الروبوتى . فمن المعروف أن مثل هذا المشروع يحتاج فى الظروف العادية للكثير من الإجراءات التى تمتد إلى سنوات قبل بدء التركيبات الروبوتية ، وقد فشل العديد من المشروعات الروبوتية بسبب تراخى المسؤولين فى المستويات الإدارية العليا عن مؤازرة المشروع .

٢ - مشاركة المدير المسؤول عن الاستفادة المباشرة من التركيبات الروبوتية فى اتخاذ القرار الخاص بقبول المشروع جنبا إلى جنب مع الإدارة العليا للشركة أو المنشأة .

٣ - الاستفادة من خبرة القائمين على تشغيل الوحدات الصناعية والخدمية فى دراسة تفصيلات المشروع ، حيث إنهم أدرى من غيرهم بخبايا العمليات الإنتاجية ومدى الاستفادة من التركيبات الروبوتية فى حل مشاكل الإنتاج .

إن عزل هذه الفئة عن اتخاذ القرار ، كثيرا ما يواكبه حدوث أخطاء جسيمة تؤثر سلبا على مستقبل المشروع .

وتُبدى الشركات المنتجة للتركيبات الروبوتية فى الدول الصناعية استعدادها لمعاونة متخذى القرار فى المواقع الصناعية والخدمية لتشجيع انتشار منتجاتهم فى الأسواق .

ومن الأساليب المتبعة فى ذلك ، تصميم بعض النماذج النمطية التى يمكن بواسطتها الحكم على صحة اتخاذ القرار بشأن المشروع الروبوتى . وتختلف هذه النماذج عما سبق عرضه فى موضوع التحليل الاقتصادى للمشروعات . إذ تهتم هذه النماذج أساسا بإعطاء درجات لكل من العوامل المحفزة والعوامل المثبطة لاتخاذ القرار الخاص بتنفيذ المشروع ، وذلك بصرف النظر عن الاعتبارات الاقتصادية التى سبق التعرض لها .

وإتماما للفائدة نعرض فيما يلى أحد هذه النماذج الذى صممته شركة « جنرال إليكتريك » GENERAL ELECTRIC للحكم على موافقة المشروع الروبوتى لاستعدادات الشركة أو المنشأة المرشحة للاستفادة منه .

نموذج الاستفتاء على تنفيذ المشروع الروبوتى

البنــد	الدرجة المخصصة للبند	نصيب التحفيز	نصيب التثبيط
١ ـ هل تضمن للعمال بصراحة الاحتفاظ بوظائفهم بعد تنفيذ المشروع الروبوتى ؟	٢٠		
٢ ـ هل تضمن للعمال الذين يُنقلون من عملهم إلى عمل آخر داخل الشركة الحصول على نفس الدخل ؟	١٥		
٣ ـ هل ستحقق التركيبات الروبوتية بعض الفوائد للعمال من ناحية : الصحة ؟ الأمان ؟ التخلص من الأعمال غير الإنسانية ؟ التخلص من الأجواء الملوثة أو الأجواء مرتفعة الحرارة أو الأعمال الشاقة أو تلك التى تقصم الظهر ؟	١٥		
٤ ـ هل هناك استعداد لدى التنظيم الإدارى الحالى للمصارحة وتبادل الآراء بحرية ؟ وهل هناك استعداد للكشف عن ظروف الشركة الاقتصادية ؟ وهل من المعتاد حدوث مشاغبات وعدم استقرار عمالى ؟	١٥		
٥ ـ هل الظروف الاقتصادية الحالية للشركة قوية بدرجة تكفى لتأمين تحقيق ما تقدمه من وعود ؟	٥		
٦ ـ هل من المتوقع تعاون مهندسى الشركة والوحدات الإدارية مع العمال فى تنفيذ المشروع الروبوتى ، أم أن هناك فواصل اجتماعية تحول دون هذا التعاون ؟	٥		

البنـــد	الدرجة المخصصة للبند	نصيب التحفيز	نصيب التنشيط
٧ - هل تضع إدارة الشركة فى اعتبارها بعض المزايا التى يحققها المشروع الروبوتى من ناحية احترام آدمية العمال ؟ أم أن الاعتبار الأساسى للشركة هو تحقيق الفوائد الاقتصادية فقط ؟	٥		
٨ - هل هناك خطة لاختيار ورفع كفاءة العمال الذين سوف يكون لهم دور فى الإشراف أو التنفيذ للمشروع الروبوتى ؟	٥		
٩ - هل يضار العمال فى حوافزهم المالية نتيجة استخدام الروبوت ؟	٥		
١٠ - هل أبدت إدارة الشركة فيما سبق اهتماما بذكاء ومهارة وإبداع العمالة ؟	٣		
١١ - هل توجد نية لدى الشركة لإشراك العمال أو الاتحادات العمالية فى استيفاء هذا النموذج ؟	٣		
١٢ - هل سيجرى تدريب العمال على حساب وقت الشركة ؟ وهل هناك نية لإيفاد العمال ، إذا لزم الأمر ، إلى الخارج لتلقى التدريب فى بلد مُورّد المعدات ؟	٢		
١٣ - هل يمكن للعمال التعبير بحرية عن مخاوفهم بشأن تأثير المشروع الروبوتى على أوضاعهم الاقتصادية دون التعرض لعقوبات ؟	٢		

الدرجات :

١ ـ مجموع النقاط المحفزة لتنفيذ المشروع =
٢ ـ مجموع النقاط المثبطة لتنفيذ المشروع =
الدرجة الصافية (١ ـ ٢) =

التقويم :

الدرجة الإجمالية لاحتمالات قبول المشروع :

٨٠ ـ ١٠٠	إمكانات تطبيق عالية ، بافتراض وجود قبول كبير مماثل لدى الإدارة لتنفيذ المشروع .
٦٠ ـ ٨٠	يمكن التنفيذ مع وجود تحفظات ، وذلك بعد دراسة جدوى تحجيم القوى المؤثرة .
٤٠ ـ ٦٠	غير كاف ، ويتطلب الأمر إعادة دراسة القوى والمؤثرات الإدارية فى محاولة لتحسين احتمالية تنفيذ المشروع .
أقل من ٤٠	من المتوقع فشل المشروع حتى مع محاولة تحسين الظروف المؤثرة .

المسح الميدانى وتحديد التطبيقات المرشحة :

الهدف من المسح الميدانى للمنشأة التى يزمع تنفيذ المشروع الروبوتى فيها ، معرفة أى العمليات الإنتاجية أو الخدمية التى تصلح لاستخدام الروبوت فيها .

ويجب فى هذا المجال التفرقة بين نوعين من المشروعات الروبوتية . النوع الأول ، ويجرى فيه استخدام التركيبات الروبوتية فى خطوط إنتاجية جديدة تماما أو فى مصانع أو منشآت ما زالت قيد التصميم .

ويتمتع هذا النوع بإمكانات كبيرة ومرونة عالية لاختيار الروبوت المناسب وتحقيق أكبر فائدة ممكنة من استخدامه دون التقيد بالعوائق التى يمليها وجود الروبوت فى نطاق إنتاجى معين وفى مجال مكانى قائم يفرض على المصمم مراعاة قواعد خاصة فى التعامل مع المكنات ومعدات التداول الموجودة بالفعل . أما النوع الثانى ، فيجرى فيه إقامة التركيبات الروبوتية وسط خطوط إنتاجية أو خدمية فى حالة تشغيل فعلى ، وذلك بهدف رفع كفاءة هذه الخطوط . ويتطلب الأمر عندئذ محاولة محاكاة الأداء البشرى أو الوسائل اليدوية المتاحة بواسطة آليات روبوتية تأخذ فى اعتبارها الحدود المكانية والزمانية المحيطة .

وعلى أى حال ، توجد حاليا مجموعة من الخصائص العامة التى تُميز الوحدات الروبوتية المتاحة فى الأسواق ، والتى يمكن بواسطتها الحكم على إمكانات نجاح المشروع الروبوتى من الناحية العملية . ويمكن إيجاز هذه الخصائص فيما يلى :

١ - إمكان العمل فى البيئات الخطيرة وفى الظروف غير المريحة بوجه عام :

تعتبر أماكن العمل التى تنطوى على أخطار مهنية وأجواء غير مريحة للبشر ، مواقع مثالية لاستخدام التركيبات الروبوتية . ومن أمثلة ذلك : وجود أخطار صحية ناتجة عن الحرارة المرتفعة ، والإشعاع والشرر ، والأجواء المُسَمَّمَة ، واستخدام المواد ذوات التأثيرات المُسَرْطِنَة . وحتى فى الحالات التى تخرج عن نطاق التصنيف الخطير ، إلا أنها تعتبر بوجه عام غير مريحة للوجود البشرى ، تصبح التركيبات الروبوتية الحل الأمثل لإنجاز العمل بكفاءة وبتميز .

وتوجد حاليا بالأسواق روبوتات يمكنها القيام بعمليات اللحام بالقوس الكهربائية واللحام البقعى ، والسباكة بالقوالب المعدنية ورش الطلاءات ، وكلها يمكن إدراجها تحت التقسيم السابق .

٢ - العمليات التكرارية :

تكثر العمليات التكرارية فى مراحل الإنتاج متوسط وكبير الحجم . وتشتمل على حركات نمطية تجرى فى تتابع محكوم وفق دورات متكررة . وتشعر العمالة البشرية بالملل وعدم تجدد الخبرات عند مزاولتها لهذه الأعمال ، مما يجعل الروبوت حلا مثاليا لها . إذ تتميز الروبوتات بتطابق الحركات المؤداة فى المكان والزمان بدقة متناهية دون كلل . ولايتطلب الأمر سوى تهيئة الحيز المطلوب لحركة الروبوت وتزويده بالآليات الطرفية المناسبة لإنجاز العملية . ومن أمثلة التطبيقات الروبوتية الناجحة فى هذا المجال ، عمليات التقاط ووضع المشغولات ، وعمليات تحميل وتفريغ المكنات ، وعمليات اللحام البقعى .

٣ - أعمال التداول الصعب :

تحتاج بعض العمليات الإنتاجية إلى تداول مشغولات أو أدوات يصعب على العامل البشرى تداولها . ومن أمثلة ذلك ؛ المشغولات الثقيلة أو الساخنة أو التى لها حواف جارحة . ويمكن للروبوت ، عند تعزيزه بقدرة رفع كافية وتجهيزات إمساك مناسبة ، القيام بأعمال التداول الصعب ، جنبا إلى جنب مع إنجازه لمهام تشغيلية أخرى .

٤ ـ الأعمال التى تتطلب أكثر من فترة إنتاجية :

هناك العديد من النشاطات الإنتاجية التى تحتاج إلى استمرار العمل فيها لأكثر من فترة إنتاجية (الفترة الإنتاجية ٨ ساعات عمل) ، إذ يتطلب الأمر فى بعض الأحيان الاحتفاظ بمعدات التسخين فى حالة تشغيل مستمر (طوال ٢٤ ساعة) لتجنب إهدار الطاقة فى إعادة تسخين هذه المعدات . ويحدث هذا كثيرا فى صناعة اللدائن البلاستيكية وصناعة الزجاج وصناعة الحديد والصلب والأسمدة . وُيلاحظ ارتفاع تكلفة العمالة فى هذه الصناعات . ويحقق استخدام الروبوتات خفضا فى التكاليف المتغيرة (تكلفة العمالة بصورة أساسية) ، وخاصة عند استمرار العمل لثلاث فترات إنتاجية ، وبذلك يمكن تعويض الزيادة فى التكاليف الثابتة الناتجة عن الاستثمار فى التركيبات الروبوتية التى تحل محل العمالة البشرية ، وتكون المحصلة النهائية تحقيق وفر فى التكلفة الإجمالية للمنتج النهائى .

ويحتاج الأمر ، فى حالة الصناعات القائمة بالفعل ، عمل جولة ميدانية بمواقع الإنتاج للتعرف على أنسب العمليات للتطبيق الروبوتى . إذ يمكن بسهولة ملاحظة ارتداء العمال فى بعض الخطوط الإنتاجية لملابس أو نظارات واقية تنم عن المخاطر التى قد يتعرض لها العامل ، أو قد يلاحظ استخدام معدات خاصة لتهيئة جو العمل . كما يمكن بسهولة ملاحظة الأعمال النمطية المتكررة ، أو تلك التى تحتاج إلى معدات تداول مساعدة مثل الروافع والأوناش . إذ أن جميع هذه الأعمال مرشحة بصورة أكثر من غيرها لاستخدام الوحدات الروبوتية .

اختيار التطبيقات المثلى :

يترتب على المسح الميدانى التعرف على مجموعة من التطبيقات الروبوتية التى تصلح للمنشأة موضع الدراسة . وتأتى بعد ذلك عملية المفاضلة بين هذه التطبيقات لوضع قائمة بالأولويات . وُيعتبر المعيار الاقتصادى هو المؤشر الذى تجرى على أساسه مقارنة التطبيقات الروبوتية المرشحة .

ويمكن بوجه عام ، عمل تحليل اقتصادى لكل من هذه التطبيقات ، كما سبق شرحه فى بداية الفصل ، حيث يمكن المفاضلة بين التطبيقات باستخدام فترة الاسترداد أو نسبة العائد على الاستثمار . ولذلك ينبغى جمع البيانات الخاصة بكل تطبيق من ناحية معدلات الإنتاج السائدة والتكاليف ومعرفة ما يقابلها فى حالة استخدام الروبوتات .

وإضافة للمعيار الاقتصادى ، يمكن الاستعانة بالمؤشرات الآتية للتأكد من نجاح المشروع الروبوتى :

١ - تَوَفُّر عنصر البساطة والتكرارية فى العمليات المرشحة .
٢ - زيادة دورة التشغيل على خمس ثوان .
٣ - إمكان وصول المشغولات إلى خط الإنتاج فى الموضع والاتجاه المناسبين .
٤ - ألا يزيد وزن المشغولة على ٥٠٠ كجم حتى تكون فى متناول الآليات الروبوتية المتاحة .
٥ - عدم احتياج خط الإنتاج لعمليات فحص وتفتيش .
٦ - إمكان الاستغناء عن فرد أو فردين فى كل ٢٤ ساعة تشغيل .
٧ - ندرة إجراء التغييرات وإعادة الضبط فى خط الإنتاج .

وُتعتبر التطبيقات التى تفى بجميع المتطلبات السابقة من أنجح التطبيقات فى المجال الروبوتى .

ويُنصح فى حالة تنفيذ التركيبات الروبوتية فى إحدى المنشآت ، البدء بالتطبيقات البسيطة غير المعقدة التى لاتحتاج إلى مهارات متقدمة فى إدارة وحدات التحكم أو فى تصميم الآليات الطرفية . إذ أن نجاح أول تطبيق روبوتى فى المنشأة سوف يُشجع على قبول التطبيقات التالية . ويصدق هذا أيضا فى حالة المنشآت التى سبق لها تنفيذ بعض التطبيقات ، ففى جميع الأحوال ، تقل احتمالات الفشل ودرجة المخاطرة باتباع الأساليب المباشرة غير المعقدة .

وُيلاحظ نزوع بعض التقنيين إلى التحمس لبعض التطبيقات الروبوتية التى تَصَادَف لهم مشاهدتها فى بعض العروض التقنية الخاصة ، والتى جرى تنفيذها على المستوى التجريبى نصف الصناعى ، إلا أنه ينبغى التحذير من مغبة عدم الحصول على أداء ناجح مماثل عند نقل هذه التقنيات إلى المواقع الإنتاجية الفعلية .

ولا يختلف الأمر عند تطبيق المعايير السابقة على المشروعات الجديدة غير المسبوقة ببنية صناعية قائمة ، إلا من حيث عدم تقيد المصمم بالاعتبارات التى تنشأ عن وجود التطبيق الروبوتى فى حيز سبق شغله بمعدات وأدوات إنتاجية فى حالة تشغيل ، إذ يتمتع المصمم بحرية اختيار التطبيق المناسب من بين عدد كبير من الخيارات المطروحة .

تحديد الآلة الروبوتية المناسبة :

يجرى تحديد الآلة الروبوتية المناسبة بعد الاستقرار على اختيار أفضل التطبيقات المناسبة لظروف المصنع أو المنشأة . ويقع على عاتق المهندس المصمم

للمشروع اختيار الروبوت المناسب من بين عشرات النماذج المتاحة تجاريا فى الأسواق .

ويضع المصمم فى اعتباره مجموعة من الخصائص التقنية التى يمكن بها تقييد مجال الاختيار فى بضعة نماذج . ومن أمثلة ذلك ، عدد محاور الحركة ، ونوع نظام التحكم ، ومقدار الحيز المكانى ، ومدى سهولة البرمجة ، ودرجة دقة التحركات ، وقيمة الحمل الذى يتوجب على الروبوت تداوله ، إلى آخر قائمة العوامل ذوات الصلة بالعملية الإنتاجية بكل خصوصياتها .

وينبغى بوجه عام اللجوء إلى الخيارات الأعلى عند وجود حيود فى المواصفات بين ما هو مطلوب وبين ماهو متاح . إذ تتميز التطبيقات الروبوتية بإمكان إعادة استخدام التركيبات فى أغراض إنتاجية أخرى بعد انقضاء الدورة الإنتاجية ، وبذلك يمكن تحقيق درجة أكبر من المرونة فى الاختيار كلما تمتعت الآلة الروبوتية بمقدرات أعلى .

ويمكن الاستعانة بالجدول التالى لتقليل عدد الخيارات أمام مهندس التصميم .

جدول (٥ – ٢) الخصائص التقنية المطلوب توافرها فى الروبوتات فى مجالات الاستخدام المختلفة

التطبيق	الخصائص التقنية النمطية	
١ ـ نقل المواد	عدد المحاور	: من ٣ إلى ٥
	نظام التحكم	: ذو تتابع محدود أو من نقطة إلى نقطة مع تشغيل مرتد .
	نظام القيادة	: نيوماتى أو هيدرولى (فى حالة الأحمال الثقيلة)
	البرمجة	: يدوية أو من خارج الروبوت (صندوق توجيه عن بعد)
٢ ـ تحميل المكنات	النظام الحركى	: ذو إحداثيات كروية أو اسطوانية أو أذرع مفصلية
	عدد المحاور	: ٤ أو ٥
	نظام القيادة	: كهربائى أو هيدرولى (فى حالة الأحمال الثقيلة)
	البرمجة	: من خارج الروبوت (صندوق توجيه عن بعد)
	نظام التحكم	: من نقطة إلى نقطة مع تشغيل مرتد ، أو بالتتابع المحدود .

التطبيق	الخصائص التقنية النمطية
٣ ـ لحام بُقعى	النظام الحركى : ذو إحداثيات قطبية أو ذراع مفصلية عدد المحاور : ٥ أو ٦ نظام القيادة : هيدرولى أو كهربائى البرمجة : من خارج الروبوت (صندوق توجيه عن بعد) نظام التحكم : من نقطة إلى نقطة مع تشغيل مرتد .
٤ ـ لحام بالقوس	النظام الحركى : ذو إحداثيات كروية أو كرتيزية أو ذراع مفصلية عدد المحاور : ٥ أو ٦ نظام القيادة : كهربائى أو هيدرولى البرمجة : يدوية أو من خارج الروبوت نظام التحكم : تشغيل مرتد ذو مسار مستمر
٥ ـ الطلاء بالنفث	النظام الحركى : ذراع مفصلية عدد المحاور : ٦ أو أكثر نظام القيادة : هيدرولى البرمجة : قيادة يدوية خارجية نظام التحكم : تشغيل مرتد ذو مسار مستمر
٦ ـ أعمال التجميع	النظام الحركى : ذراع مفصلية أو إحداثيات كرتيزية (صندوقية) أو ذراع تجميعية ذات مطاوعة اختيارية (SCARA) غدد المحاور : من ٣ إلى ٦ نظام القيادة : كهربائى البرمجة : قيادة خارجية (صندوق توجيه عن بعد) أو لغة نصيةtextual language نظام التحكم : تشغيل مرتد من نقطة إلى نقطة أو ذو مسار مستمر الدقة ومقدرة الإعادة : عالية

وُينصح باتباع المنهج التالى عند اختيار الروبوت المناسب :

١ - ابدأ بإعداد قائمة بالخصائص التقنية المطلوبة من التطبيق الروبوتى لكل حالة .

٢ - قارن الخصائص المدرجة بالقائمة بالمواصفات التى تتجمع لديك من منتجى الروبوتات فى المجال المطلوب .

٣ - يُفضل تقسيم الخصائص التقنية إلى خصائص « لازمة » وأخرى « مفضلة » ؛ فالخصائص اللازمة هى التى لا يصلح التطبيق الروبوتى بدونها ، أما الخصائص المفضلة فهى التى تضيف بعض المزايا إلى الأداء الروبوتى .

٤ - اعط درجات لكل خيار روبوتى فيما يختص بالخصائص المفضلة ، واستبعد الروبوتات التى لاتتوافر فيها الخصائص اللازمة ، وذلك بعد تقدير درجة نهائية لكل خاصية مفضلة بحسب أهميتها .

ونسوق فيما يلى مثالا عمليا على اختيار روبوت يصلح لعمليات اللحام بالقوس .

بفحص قائمة الشركات المنتجة ، تبين وجود ٤ شركات (٤ نماذج) يمكنها توريد روبوتات تصلح لعمليات اللحام بالقوس ، أشرنا إليها بالرموز أ ، ب ، جـ ، د . وقد تبين من المقارنة الأولية لمواصفات هذه النماذج بقائمة الخصائص اللازمة ، عدم وفاء النموذج جـ بخاصية عدد المحاور ، فتم استبعاده من المقارنة . وقد أعطيت درجات بعد ذلك للنماذج المتبقية لكل من الخصائص المفضلة . ويلاحظ أن بعض هذه الخصائص له طبيعة تقنية ، والبعض الآخر ليس كذلك ، إذ يحتاج الأمر إلى إعطاء أهمية خاصة للسعر أو لفترة التوريد أو لمدى كفاءة المورد وسمعته التجارية ، وهذه كلها لا يمكن اعتبارها خصائص تقنية .

وفيما يلى النموذج الذى استخدم فى تقويم الخيارات الروبوتية :

الخصائص التقنية	النماذج الروبوتية المرشحة			
	نموذج أ	نموذج ب	نموذج جـ	نموذج د
أ ـ الخصائص « اللازمة »				
١ ـ تحكم ذو مسار مستمر	متفق	متفق	متفق	متفق
٢ ـ ٦ محاور حركية	متفق	متفق	مخالف	متفق
٣ ـ برمجة داخل الروبوت	متفق	متفق	متفق	متفق
ب ـ الخصائص « المفضلة »				
١ ـ سهولة البرمجة (من صفر إلى ٩)	٦	٤	-	٦
٢ ـ إمكان تعديل البرنامج (من صفر إلى ٥)	٤	٢	-	٥
٣ ـ ميزة تعدد المسارات (من صفر إلى ٤)	٢	٢	-	٢
٤ ـ حجم حيز التشغيل (من صفر إلى ٩)	٥	٨	-	٦
٥ ـ إمكان إعادة الدورة (من صفر إلى ٥) بدقة	٥	٢	-	٤
٦ ـ أقل سعر (من صفر إلى ٥)	٤	٥	-	٣
٧ ـ التوريد (من صفر إلى ٣)	١	١	-	٣
٨ ـ كفاءة المورد (من ٥ إلى ١٠)	٦	٥	-	٨
إجمالى الدرجات	٣٣	٢٩	-	٣٧

نتيجة التقويم :

١ ـ استبعاد النموذج جـ لعدم وفائه بالمطلب (٢) من الخصائص اللازمة .

٢ ـ اختيار النموذج د لوفائه بجميع الخصائص اللازمة ولحصوله على أكبر تقدير فى الخصائص المفضلة .

وتجدر الإشارة إلى أن التقويم السابق لا يغنى عن إجراء التحليل الاقتصادى الذى سبق شرحه باستفاضة فى بداية هذا الفصل . وإن أمكن اعتبار ذلك التقويم بداية ضرورية لاستيفاء عناصر التحليل .

التخطيط الهندسى لأعمال التركيبات :

يأتى التخطيط الهندسى لأعمال التركيبات الروبوتية فى مرحلة لاحقة للاستقرار على اختيار النوع المناسب من الروبوتات التى تحقق الأهداف التقنية والاقتصادية للمنشأة الصناعية أو الخدمية .

وينطوى هذا التخطيط على مجموعة من الاعتبارات التى ربما لايُلتفت إليها فى التطبيقات الهندسية الأخرى .

إذ أن ما يصلح به الأداء البشرى فى خطوط الإنتاج ، قد لا يصلح به الأداء الروبوتى . فقد يتأتى للإنسان بسهولة التعرف على مجموعة مختلفة من العيوب فى المشغولات المطلوب معالجتها ، على حين يتعذر على الروبوت إدراك بعض العيوب الظاهرة للعيان ، مالم يزود بإمكانات استشعارية مناسبة لنوع العيب المراد إدراكه . وسوف يؤدى هذا بالقطع ، إن لم يؤخذ فى الاعتبار ، إلى تلف أدوات التشغيل التى تتعامل مع القطع المعيبة ، كما قد يؤدى فى أحيان أخرى إلى حدوث تلف فى الآلة الروبوتية ذاتها .

ويمكن معالجة الأمر بالمزج بين الأداء الروبوتى والأداء البشرى فى خطوط الإنتاج ، بحيث يقوم العامل البشرى بفحص المشغولات قبل مرورها على الآلة الروبوتية ، إذ أن إضافة قدرات خاصة للروبوت للقيام بهذا العمل سوف يؤدى بالقطع إلى زيادة سعر الروبوت بشكل يؤثر على اقتصاديات التطبيق بأكمله .

ولنأخذ مثلا آخر على اختلاف الأداء البشرى عن الأداء الروبوتى . فقد نجد فى معظم عمليات التشغيل التى يقوم بها العامل البشرى بمساعدة الآلة ، أنه من الأنسب تثبيت القطعة المراد تشغيلها وتحريك أداة القطع بالنسبة لها . إلا أن الأمر قد يختلف فى حالة الروبوت ، إذ قد يكون من الأنسب تثبيت أداة القطع وتحريك المشغولة بالنسبة لها .

وعموما ، ينبغى عند التعرض لدراسة طريقة التشغيل معرفة الغرض الأساسى والوظيفة المُراد تحقيقها ، ثم يلى ذلك تحديد أفضل الطرق التى يمكن للروبوت بها إنجاز هذه الوظيفة لتحقيق الغرض الأساسى .

ويرتبط تصميم خلية التشغيل الروبوتية ارتباطا وثيقا بعملية التشغيل ذاتها ، ويجب على مصمم أعمال التركيبات أن يقرر على وجه التحديد أى نوع من هذه الخلايا يمكن استخدامه لتحقيق الغرض المطلوب ، إذ أن هناك على وجه العموم ثلاثة إمكانات لتخطيط وضع الآلة الروبوتية بالنسبة لما حولها :

(أ) الآلة الروبوتية فى وضع متمركز بالنسبة لخلية التشغيل .
(ب) الآلات الروبوتية تصطف على طول خط التشغيل .
(جـ) استخدام آلة روبوتية متنقلة .

ويجب على المصمم أن يتجاوز بفكره ما اعتاد عليه من مواءمة طريقة التشغيل لطبيعة الأداء البشرى ، إذ أن ما يصلح للبشر قد لا يصلح فى أغلب الأحيان للآلة الروبوتية . فالبشر يسهل عليهم التنقل بحُرية بين مكنات التشغيل ، على حين يغلب على الآلات الروبوتية اتخاذ الوضع الثابت ، وعندئذ لابد من تدبير وصول المشغولات فى الوضع والتوقيت المناسبين لتناول الروبوت لها .

وُيحقق هذا الوضع ميزة تضييق حيز التشغيل ، إذ لا يُخشى على الروبوت ، مثلما يخشى على الإنسان ، من الاقتراب من الحيز غير الآمن لأدوات القطع أو التشغيل .

ولعل التناقض بين الآلة الروبوتية والعامل البشرى يظهر بأجلى صوره ، فى أن أفضل طرق تثبيت الروبوت هو الوضع المقلوب الذى يطل من أعلى على خط التشغيل ، خلافا للوضع الطبيعى الذى يفترض فيه وقوف العامل على أرضية المصنع لمزاولة عمله فى خط الإنتاج . وعلى ذلك ، يجب على المصمم أن يأخذ فى اعتباره عدم التقيد بتثبيت الآلة الروبوتية على أرضية خط التشغيل .

وتختلف كذلك اعتبارات الأمان للروبوت عنها للبشر ، وتتوقف بشكل أساسى على طبيعة تصميم الروبوت والمواد المصنوع منها ، فقد يتحمل الروبوت درجات الحرارة المرتفعة والتعرض للشرر والضوء الشديد ، مما لايتحمله البشر ، بينما تؤثر عليه الضوضاء الإلكترونية وتحدث ارتباكا فى وحداته الحاسوبية ، مما لا يؤثر عادة على الإنسان . وينبغى على المصمم مراعاة ظروف الأمان الخاصة بآلته الروبوتية وفقا لما تنص عليه تعليمات منتج الروبوت .

كذلك يحتاج الروبوت لما لا يحتاجه الإنسان من مرافق ، مثل خطوط الهواء المضغوط والتغذية الكهربائية وموصلات الإشارات الإلكترونية وخطوط مياه التبريد . وينبغى ، بالإضافة إلى الحرص على أمان الروبوت ، الاحتراس من الروبوت عندما يمسه الخلل ، إذ قد تؤدى الأعطال الروبوتية إلى أخطار جسيمة على ما حوله من بشر أو مكنات إذا لم تكن إجراءات الحماية الكافية مستوفاة ، والتى تشتمل عادة على مُحددات إيقاف على أطراف النطاق الحركى ، ومستشعرات تأمين إضافية ، وقواطع أوتوماتية للتغذية الكهربائية ، وفى بعض الأحيان أوامر تأمين داخل البناء المنطقى لبرنامج تشغيل الروبوت .

ويحتاج الروبوت ، بالاضافة إلى ما سبق ، إلى عمل تصميم جيد لآلياته الطرفية ولأدوات التشغيل والتثبيت الملحقة به ، وعمل دراسة لعنصرى الحركة والزمن بالنسبة للروبوت وماحوله من معدات أو قوى بشرية .

ويساعد التخطيط الجيد لأعمال التركيبات الروبوتية على تَجَنب العديد من المشكلات التى تصاحب عادة أعمال التركيب فى الموقع ، وإن كان من الصعب تلافى حدوث بعض المصاعب التى قد تنشأ عن الظروف الخارجية أو عن بعض الأخطاء التى تشوب عملية التخطيط .

ولعله من المفيد عرض الخطوات التى تُمر بها أعمال التركيبات الروبوتية بشكل عام . ويمكن التأكيد على أن هذه الخطوات تناسب الغالبية العظمى من المشروعات الروبوتية رغم احتمال شذوذ بعض الحالات الخاصة .

الخطوات والنشاطات الأساسية التى تقوم عليها مرحلة التركيبات :

١ ـ شراء الروبوت والمعدات الأخرى والمستلزمات التى تحتاجها أعمال التركيبات .

٢ ـ تجهيز الموقع الخاص بالوحدات الروبوتية ، وقد يشمل ذلك :
عمل القواعد الخاصة بأدوات التشغيل الثقيلة فى الخلية ، والقواعد الخاصة بتثبيت وضع الروبوت بالنسبة للمعدات والمكنات المعاونة ، وكذلك عمل أى ملحقات خاصة بحماية الروبوت ومستلزماته من الظروف المحيطة ؛ مثل درجات الحرارة العالية أو الأدخنة ، أو الضوضاء الإلكترونية ، أخذا فى الاعتبار ظروف تصميم الروبوت .

٣ ـ مد خطوط الكهرباء والمياه والهواء المضغوط إلى مواضع استخدامها فى موقع التركيبات .

٤ ـ مواءمة قِطَع المعدات القياسية للاستخدام فى الخلية الروبوتية .

٥ ـ تثبيت الروبوتات والمعدات الأخرى فى أماكنها ، و تركيب السيور الناقلة ومعدات التداول الخاصة بنقل المشغولات من وإلى الخلية الروبوتية .

٦ ـ تركيب واختبار وبرمجة وحدة التحكم الخاصة بالخلية .

٧ ـ تركيب المستشعرات ومحددات الإيقاف وتوصيلها بوحدة التحكم .

٨ ـ تركيب نظم الأمان .

٩ ـ تصنيع الآليات الطرفية والأدوات الأخرى .

مراعاة الأمان الصناعى والمدنى :

يُنظر للأمان الصناعى والمدنى فى التطبيقات الروبوتية من منظورين مختلفين : الأول خاص بما يحققه الروبوت من أمان للعنصر البشرى نتيجة لإحلاله محل الإنسان فى مجالات العمل الخطيرة ، والثانى خاص بحماية العامل البشرى مما قد ينتج عن استخدام الروبوت من أخطار .

ويُقدم المنظور الأول للأمان الصناعى والمدنى المبرر القوى الذى يرجح استخدام الروبوت فى المجال الصناعى والخدمى ، حتى بصرف النظر عن الاعتبارات الاقتصادية . وتشمل المجالات الخطيرة ، التى يقى الروبوت الإنسان أضرارها ، العمل فى الأجواء مرتفعة الحرارة أو شديدة الضوضاء أو الأجواء التى تغشاها الأدخنة أو الإشعاعات أو المواد ذات السمية الشديدة ، كذلك تشمل العمل فى ظروف قد تعرض الإنسان لفقد أطرافه أو للكسور أو للإصابات المهنية المختلفة ، مثل تدهور الإبصار أو الإصابات الجلدية أو السرطانية .

ويتوقف استخدام الروبوت فى هذه المجالات الخطيرة على جدية التشريعات المنظمة لحقوق العاملين فى مجتمع من المجتمعات ، فكلما زادت قيمة التعويضات التى يضطر أرباب الأعمال لدفعها للعمال فى حالات الإصابة أو الوفاة ، دفعهم ذلك إلى التفكير فى البديل الروبوتى كحل اقتصادى مناسب .

لقد أرسى « إسحق أزيموف » بقانونه الأول عن الروبوتية ، الذى ينص على ضرورة ألا يتسبب الروبوت فى الإضرار بالبشر بطريق مباشر أو غير مباشر ، الأساس القوى لمفهوم الأمان الصناعى للبشر المتعاملين مع الروبوت . وتنشأ احتمالات الخطر على الإنسان من الروبوت بصورة أساسية عند اضطرار العامل للاقتراب من الخلية الروبوتية فى حالة من الحالات الثلاث الآتية :

١ ـ عند برمجة الروبوت .

٢ ـ أثناء تشغيل الروبوت مع وجود العامل فى نطاق الخلية الروبوتية .

٣ ـ أثناء صيانة الروبوت .

ويأتى الخطر من احتمال اصطدام العامل بالروبوت ، مما يعرضه للإصابة المباشرة ، أو نتيجة لإصابة العامل بصدمة كهربائية عند ارتخاء أو سقوط الكبلات الموصلة للقدرة ، أو نتيجة لسقوط المشغولات من قبضة الروبوت على العامل .

ويمكن تجنب ذلك كله ببعض الاجراءات المباشرة ، مثل التوصيل الجيد بالأرض (التأريض) للمعدات الكهربائية ، ورفع الأرضيات المخصصة لمرور العمال فوق منسوب الكبلات ، أو تثبيت بعض الحواجز فى المناطق التى يُتوقع فيها سقوط بعض المشغولات من قبضة الروبوت .

وهناك بعض الاجراءات الأخرى التى تقلل كثيرا من احتمالات الخطر عند التعامل مع الروبوت . ومن ذلك ، ضبط سرعة الذراع الروبوتية عند قيمتها الدنيا أثناء برمجة الروبوت وعند فحص واختبار البرنامج ، وكذلك فصل التغذية الكهربائية عن الروبوت أثناء صيانته .

كما توجد بعض الإجراءات التى ينبغى أخذها فى الاعتبار فى المراحل الأولى لتصميم الخلايا الروبوتية بهدف تأمين العمل فى النطاق غير الآمن للخلايا .

وقد تشمل هذه الاجراءات تزويد الوحدة الروبوتية بأزرار طوارىء لوقف التشغيل فى حالات الحوادث ، أو تزويد الوحدة بسياجات واقية وعلامات وأجهزة تحذير صوتية وضوئية .

ويراعى فى تقدير الحرم الآمن للروبوت إمكانات تحرك الآلية الروبوتية فى جميع الاتجاهات ، سواء تلك التى يشملها التشغيل الطبيعى للروبوت أو الاتجاهات التى يُتوقع تحرك الروبوت فيها عند حدوث خلل فى نظام البرمجة أو التحكم . وقد يقتضى الأمر عمل بوابات خاصة للدخول إلى نطاق الخلية الروبوتية على نحو يؤدى إلى فصل التغذية الكهربائية عن الخلية أوتوماتيا بمجرد فتح البوابة . كما يمكن وضع حائل بين العامل والروبوت يجرى من خلاله تبادل المشغولات بينهما بواسطة منضدة دوارة لحماية العامل من أية مفاجآت أو أخطار تنشأ عن خلل فى تناول الروبوت للمشغولة .

ومن أساليب الحماية المتقدمة ، تركيب مستشعرات أمان فى نطاق الخلية الروبوتية تُستخدم إشاراتها المرتدة ، فى حالة استثارتها بسبب وجود غرباء أو عوائق فى نطاق عمل الروبوت ، لاتخاذ أحد الإجراءات التالية :

١ - الإيقاف الكامل للروبوت .

٢ - إطلاق أجهزة الإنذار .

٣ - تخفيض سرعة الروبوت إلى الحد الآمن .

٤ - توجيه الروبوت للعمل فى نطاق مغاير لنطاق وجود العائق . ويجرى تركيب

المستشعرات عادة عند مستويات ثلاثة :

١ - المستوى الأول ، على حدود الخلية الروبوتية الخارجية ، على نحو تنشط معه المستشعرات بمجرد حدوث محاولة اختراق لحدود الخلية .

٢ - المستوى الثانى ، داخل الخلية الروبوتية وخارج نطاق حركة الروبوت ، على نحو تنشط معه أجهزة الاستشعار عند وجود جسم غريب فى نطاق عملها .

٣ - المستوى الثالث ، داخل نطاق حركة الروبوت المباشرة ، كخط دفاع أخير تنشط عنده المستشعرات بمجرد إدراكها لوجود عائق فى منطقة الحركة المباشرة للروبوت .

وهناك مستوى أعلى من ذلك للتأمين الكامل للخلية الروبوتية ، حتى فى حالة تعطل مستويات الاستشعار السابقة . وفيه يجرى تركيب ما يعرف باسم « مُستكشِف فَشَل نظم الأمان » fail-safe hazard detector الذى يقوم أوتوماتيا وبشكل دورى ، باختبار مستشعرات الأمان الموجودة فى نطاق الخلية الروبوتية لاكتشاف أية أعطال عارضة بها ، وذلك عن طريق تعريض المستشعرات لتأثيرات مماثلة لتلك التى يحدثها وجود عائق حقيقى فى مجال عملها بما يشبه مفهوم « تقدير البلاء قبل وقوعه » .

وعلى أى حال ، يُترك للمصمم تحديد درجة التأمين المناسبة للخلية الروبوتية فى ضوء إدراكه لاحتمالات الخطر وأهميته ، إذ تؤدى المبالغة فى استخدام نُظُم حماية بالغة التعقيد ، إلى ارتفاع سعر الوحدة الروبوتية بشكل يخرجها من المنافسة الاقتصادية .

التدريب :

يمثل التدريب إحدى كبرى المشكلات التى تؤثر على فعالية نقل التقنيات الحديثة إلى المجتمعات المتنامية ومنها دول العالم العربى . ويصدُق هذا بصورة أكبر على نقل التقنيات الروبوتية . وترجع أهمية التدريب فى هذه الحالة ، إلى ما تحدثه الروبوتات من تأثيرات على مختلف مناطق الإنتاج بما فيها من معدات وعمالة .

والتدريب فى حالة الروبوتات هو تدريب ممتد المفعول ، بمعنى أنه يبدأ قبل بداية تنفيذ المشروع الروبوتى ويستمر بعده إلى فترة طويلة . كما أنه تدريب شامل لجميع مستويات العمالة بدءا من الإدارة العليا ، فالطاقم الهندسى ، فمجموعات التشغيل ، وانتهاء بمجموعة الصيانة والأمن الصناعى .

ويمكن بوجه عام تصنيف أنواع التدريب اللازمة لنجاح التطبيقات الروبوتية إلى ما يلى :

١ - تدريب بهدف التوعية وزيادة الدراية بأهمية الروبوتات .

٢ - تدريب على كيفية صياغة مبررات المشروع الروبوتى .

٣ - تدريب على أعمال تنفيذ التطبيق الروبوتى .

٤ - تدريب على أعمال الصيانة والتشغيل .

٥ - تدريب على ممارسة قواعد وإجراءات الأمان الصناعى والمدنى .

ويشمل التدريب بهدف التوعية وزيادة الدراية مجالات متعددة ، مثل التعرف على الأنواع المختلفة المتاحة تجاريا من التطبيقات الروبوتية ، والتعريف بالاعتبارات الاقتصادية والآثار الاجتماعية للمشروع الروبوتى ، وتوجيه الاهتمام إلى ما تمر به الروبوتية من تطور فى الإمكانات على المستويين البحثى والتجريبى على نحو يُمَكِّن المُتدرب من تكوين تصور واضح عن المستقبل القريب للتطبيقات الروبوتية . ومثل هذا النوع من التدريب يجب أن يُوجه بالدرجة الأولى إلى المستويات الإدارية والهندسية العليا لمساعدتها وتشجيعها على اللجوء للخيار الروبوتى فى الحالات التى تستوجب ذلك .

أما بالنسبة لمهندسى التشغيل والصيانة ، فتختلف طبيعة التدريب بهدف التوعية ، إذ تتضمن أساسا عرض نماذج عملية لتطبيقات روبوتية جرى تنفيذها فى مجال صناعى مماثل مع بيان ما تحققه من مزايا تقنية لأعمال التشغيل والصيانة حتى ترتفع لديهم درجة الاستعداد لتقبل التركيبات الروبوتية بمواقع عملهم ، وحتى يمكن إزالة الحاجز النفسى الذى قد ينشأ عن عدم الدراية أو عن بعض الأفكار الخاطئة بشأن الروبوتات .

وتشتد الحاجة لهذا النوع من التدريب فى العديد من الأقطار العربية ذات المستوى الصناعى المتقدم نسبيا ، وذلك لتمهيد الأرضية التقنية فيها للثورة الروبوتية القادمة .

ويجب توجيه التدريب فى مجال صياغة مبررات المشروع الروبوتى إلى المديرين والمهندسين الذين سوف يُناط بهم اتخاذ القرار بشأن تنفيذ المشروعات الروبوتية . وغالبيتهم من إدارات البحوث والتطوير بالشركات الصناعية . ويتم التركيز فى التدريب على النواحى الاقتصادية التى تميز التطبيقات الروبوتية من

غيرها من المشروعات الاستثمارية الأخرى ، والتى سبق التعرض لها فى البنود السابقة . ومن الأمور الشائعة ، عدم وجود معايير اقتصادية لدى الشركات لتقويم بعض الفوائد التى تحققها الاستخدامات الروبوتية ، لذلك يجب إمداد المتدربين بمواد عملية تتضمن نماذج محسوبة لحالات جرى فيها تقويم الآثار الاقتصادية للبدائل المختلفة لاستخدام الروبوتات فى خطوط إنتاجية تقليدية .

أما التدريب على أعمال تنفيذ المشروع الروبوتى ، فيجب توجيهه إلى العمالة الفنية بالشركة من مهندسى التركيبات وأطقم الإدارات الهندسية والإنتاجية بمن فيهم الملاحظون ، الذين سوف يتولون اختيار التطبيقات المناسبة والتخطيط لأعمال التركيبات . ويشمل التدريب التعرف على تفاصيل الآلة الروبوتية من آليات ومستشعرات ونظم تحكم وتوصيلات كهربائية وميكانيكية ، ويشمل كذلك التعرف على أعمال البرمجة والتحليل الزمنى لدورة التشغيل وتصميم الخلية الروبوتية بوجه عام ، وما تحتاجه من مرافق وخدمات .

ويجرى توجيه التدريب على التشغيل والصيانة إلى المهندسين والملاحظين العاملين فى هذا المجال ، والذين سوف تقع عليهم مسؤولية المحافظة على الأداء الجيد للتركيبات الروبوتية . ويقوم عادة منتجو الروبوتات بهذا التدريب باعتباره جزءا من التعاقد على توريد المعدات . ويشمل التدريب جميع المهارات الخاصة بأعمال التشغيل والصيانة مثل البرمجة ، وتتبع الأعطال وإصلاحها ، واستبدال المكونات التالفة بقطع غيار جديدة ، وطرق التحكم ، ويحتاج التدريب على الروبوتات البسيطة إلى يومين أو ثلاثة ، ويمتد لأسبوعين أو أكثر قليلا فى حالة الوحدات الروبوتية المعقدة . ويجب توقيت أعمال التدريب بحيث تتزامن مع أعمال التركيبات ، مع الأخذ فى الاعتبار عمل تعاقد طويل الأجل لتكرار نشاطات التدريب على فترات دورية متقطعة لضمان استمرار كفاءة الأداء . ولاتختلف التطبيقات الروبوتية من الناحية الميكانيكية عن المعدات الأخرى ، مما يُسهل أمر الاعتماد على المهارات المتاحة لدى الشركات فى هذا المجال .

إلا أن التدريب يتطلب التركيز بشكل أكبر على الإلكترونيات والحواسيب والمعالجات الدقيقة وأجهزة التحكم المبرمجة ، مما ينقص عادة العمالة العادية لدى الشركات . وقد يقتضى الأمر تدريب هذه العمالة على استخدام أجهزة خاصة بالمعايرة وتشخيص الأعطال والبرمجة ، مما يعد مقصورا على تطبيق روبوتى معين .

ويُفضل بوجه عام ، أن تخصص الشركة مهندساً على دراية كافية بالحواسيب

لتدريبه على برمجة نظم التحكم فى الآليات الروبوتية ، وألا تدع هذا العمل للعمالة المباشرة أو العادية . ومن الممكن ، فى مرحلة لاحقة ، تدريب العمالة المباشرة على التعامل مع وحدات البرمجة الطرفية من ناحية التغذية بالمدخلات دون الدخول فى تفاصيل البرامج .

والنوع الأخير من التدريب ، وهو الذى يختص بالأمان الصناعى والمدنى ، هو أكثر أنواع التدريب شمولا من ناحية فئات المتدربين ، إذ يجب توجيهه لكل من تقتضى مهامه الوظيفية الوجود فى نطاق عمل الآليات الروبوتية سواء بشكل مباشر ، من حيث التعامل مع الآليات الروبوتية ذاتها ، أو غير مباشر ، من حيث قيامه ببعض الأعمال فى نطاق عمل الروبوت أو بجواره .

ومن الجدير بالتنبيه ، ضرورة اشتمال التدريب على وسائل لتقويم المتدرب ، من اختبارات عملية ونظرية ، لضمان الجدية ولإعطاء الفرصة للعناصر ذات الكفاءة والمهارة للقيام بالعمل المطلوب .

الصيانـــة :

إذا جاز لنا أن ننتقد الأداء التقنى فى الدول النامية بوجه عام ، وفى الدول العربية بوجه خاص ، لقلنا إنه يفتقد المقدرة على الاستمرار بمستوى ثابت من الكفاءة المطلوبة . فكم من المصانع التى أقيمت فى هذه الدول على أحدث ما عرفته الصناعة فى الدول المتقدمة من معايير تقنية عالية ، وحققت فى بداية تشغيلها ما صُممت عليه من معدلات إنتاج وجودة ، ثم مالبثت أن تدهورت مؤشراتها بمضى السنين ، وأحيانا الشهور . ويكاد يُجمع خبراء الصناعة على أن السبب فى ذلك هو ضعف الصيانة وغياب المثابرة على الالتزام بقواعدها وأصولها .

وللتقنيات الروبوتية وضع خاص فى هذا المجال ، فهى كثيرا ما تحتاج إلى ممارسة القواعد السليمة فى صيانتها وبرمجتها ، لما تتميز به من حساسية ودقة .

ومن الضرورى ، لنجاح التطبيق الروبوتى ، توافر نظام صيانة قوى وفعال فى موقع التطبيق . ويعتمد هذا النظام على ثلاثة عناصر أساسية لا يستقيم بدون أحد منها ، وهذه العناصر هى :

١ ـ توافر طاقم صيانة ذى مهارة ومستوى تدريبى عاليين .
٢ ـ وجود برنامج مناسب للصيانة الوقائية .
٣ ـ وجود نظام مستقر لتوفير قطع الغيار وترشيد استخدامها .

ولنبدأ بالعنصر الأول ، وهو طاقم الصيانة . ينبغى بداية تحديد المطلوب من هذا الطاقم ، إذ أنه يقوم فى المعتاد بنوعين من المهام : إحداهما تختص بالصيانة الوقائية ، وسوف نتحدث عنها فيما بعد ، والمهمة الأخرى تختص بما يعرف بصيانة الطوارىء أو الأعطال . وتنشأ الحاجة إلى صيانة الطوارىء عندما يحدث تلف مفاجىء فى الآلية الروبوتية أو حيود عن الأداء المطلوب يتوقف بسببه الخط الإنتاجى .

هنا ينبغى لطاقم الصيانة التوجه بسرعة إلى مكان الخلل حيث يَشْرع أولا فى تشخيص أسبابه ثم يقوم بعلاجه أو إصلاحه ، ويعقب ذلك تجربة الروبوت بعد إجراء الإصلاح للتأكد من سلامة أدائه . ومن البديهى ، توقف الإنتاج خلال هذه الفترة وحدوث خسائر فى أرباح الشركة تتناسب مع وقت التعطل . وبإجراء تحليل زمنى بسيط لفترة التعطل نجد أنها تتكون من أربع مراحل زمنية :

١ ـ فترة استدعاء طاقم الصيانة إلى موضع العطل .
٢ ـ فترة تشخيص طاقم الصيانة لأسباب العطل .
٣ ـ فترة الإصلاح .
٤ ـ فترة تجربة الروبوت بعد إجراء الإصلاح .

إن وجود عدد كاف من أفراد الطاقم على مقربة من العطل يمكنه أن يختصر كثيرا من الفترة الأولى . ويتوقف هذا بالطبع على إمكانات الشركة فى تعيين أطقم الصيانة بها . وقد تلجأ بعض الشركات الصغيرة إلى استدعاء أطقم صيانة خاصة من مُورِّد الروبوتات أو وكيله للقيام بالعمل بناء على تعاقد قائم بينهما ، وقد لايحتاج الأمر لأكثر من مكالمة تليفونية مع طاقم الخدمة لدى المورد لإسداء النصح بشأن طريقة الإصلاح ، كما قد يستدعى الأمر وصول طاقم الخدمة لمعالجة العطل بنفسه . وفى جميع الأحوال ، يكون على الشركة تقدير الأسلوب الأمثل من الناحية الاقتصادية . ففى الحالات التى يكون من المتوقع فيها تكرار الأعطال على فترات متقاربة ، يُفضل توافر طاقم صيانة خاص بالشركة ، على أن يكون فى حالة أستعداد للقيام بالإصلاح دون مساعدة خارجية . أما فى حالة ندرة أعطال الطوارىء ، إما بسبب طبيعة التركيبات الروبوتية ، أو بسبب وجود نظام صارم للصيانة الوقائية لا يسمح إلا بنسبة ضئيلة من الأعطال المفاجئة ، فقد يكون التعاقد مع الشركة الموردة هو الأسلوب الأمثل .

وفى ضوء تجاربنا الإقليمية ، التى تتميز بصعوبة الاتصالات فى أحيان كثيرة ، وعدم مقدرة وكيل مورد المعدات على الاستجابة الفورية لطلب العميل ،

ننصح بالاعتماد على أطقم صيانة على مستوى جيد من التدريب داخل الشركة .

وتُعتبر فترة التشخيص فى كثير من الأحيان هى العامل الحاسم فى تحديد وقت التعطل . وكلما زادت مهارات أطقم الصيانة وارتفع مستوى تدريبها وتوافرت لديها أجهزة ومعدات التشخيص المناسبة ، أمكن اختصار هذه الفترة بدرجة كبيرة .

وفور معرفة أسباب الخلل ، يكون من اليسير فى كثير من الأحيان القيام بالإصلاح بشكل نمطى ، وذلك بتتبع تعليمات الإصلاح التى جرى التدريب عليها من قبل .

كذلك ، لاتنشأ عادة مفاجآت فى فترة تجربة الروبوت عند القيام بالإصلاح وفقا للتعليمات الفنية المُوصى بها .

وننتقل الآن إلى العنصر الثانى الخاص بالصيانة الوقائية . وبادىء ذى بدء ، لا يمكن نجاح الصيانة الوقائية إلا بتنفيذها من خلال برنامج شامل .

وقد اعتدنا ، على المستوى المحلى ، ممارسة صيانة الطوارىء بشكل أوسع نطاقا من ممارسة الصيانة الوقائية ، وذلك نظرا لصعوبة الأخيرة وارتباطها بكثير من العوامل والنشاطات التقنية الأخرى داخل الشركات الصناعية . وأهم ما يميز الصيانة الوقائية هو أنها تجرى بشكل منتظم ومخطط فى الأوقات التى لاتتطلب عادة إيقاف خطوط الإنتاج بصورة غير طبيعية ، أى أنها تجرى فى فترة التوقف المعتادة التى تلازم أى عملية إنتاجية ، كما أنه يترتب على تنفيذها الحد بشكل كبير من حدوث الأعطال المفاجئة أو الجسيمة . أما فيما يختص بالآليات الروبوتية ، فيقرر منتج الروبوت عادة فى كتيبات أو تعليمات التشغيل والصيانة ، البرنامج الخاص بخدمة الروبوت من حيث الفترات التى يجب عندها استبدال بعض المكونات سريعة التلف ، مثل حابكات التزليق ، و « كراسى » المحاور ، والجلب ، والصمامات ، إلخ . ويقع على عاتق طاقم الصيانة الوقائية بعد ذلك دمج الاحتياجات الخاصة بالآليات الروبوتية المختلفة فى برنامج واحد ، يُراعى فيه الاستفادة المثلى من عامل الوقت والقوى البشرية والموارد المالية المخصصة لأعمال الصيانة .

ويوجد عادة مؤشران أساسيان يحددان مصداقية الصيانة الوقائية . المؤشر الأول ، هو « الفترة الزمنية المتوسطة بين الأعطال » (Mean Time Between Failure-MTBF) ، ويقاس بعدد ساعات التشغيل المتوسطة التى تمضى بين عطلين متتابعين ينتجان عن تلف أحد المكونات فى الآلية الروبوتية . والمؤشر الثانى ، هو « الفترة الزمنية المتوسطة اللازمة للإصلاح » (Mean Time To Repair-MTTR) .

ويُمكن بدمج المؤشرين معا الحصول على مقياس « لإتاحية » (availability) التشغيل للروبوت ، فإذا رمزنا للمؤشر الأول بالرمز « ع » ، وللمؤشر الثانى بالرمز « ص » ، ولإتاحية التشغيل بالرمز « أ » ، فإن :

$$\text{أ} = \frac{\text{ع} - \text{ص}}{\text{ع}}$$

ويكون الهدف حينئذ من الصيانة الوقائية هو إطالة أمد الفترة بين الأعطال « ع » ، وتقصير الفترة فى حالة « ص » ، حتى يمكن الحصول على أعلى نسبة « لإتاحية التشغيل » للروبوت .

ولنأخذ مثالا على ذلك ، ما لوحظ فى أحد المصانع التى تستخدم الروبوت من أن ع = ٤٠٠ ساعة ، وأن ص = ١٦ ساعة ، وعلى ذلك فإن نسبة « إتاحية التشغيل » للروبوت :

$$\text{أ} = \frac{٤٠٠ - ١٦}{٤٠٠} = ٠,٩٦ \text{ أو } ٩٦\%$$

وعليه ، فقد تبنى المصنع برنامجا للصيانة الوقائية نتج عنه إطالة أمد « ع » إلى ٦٠٠ ساعة ، وتقصير الفترة « ص » إلى ١٢ ساعة ، فنتج عن ذلك تحسن فى قيمة « أ » :

$$\text{أ} = \frac{٦٠٠ - ١٢}{٦٠٠} = ٠,٩٨ \text{ أو } ٩٨\%$$

وينبغى لمخططى الصيانة الوقائية الاحتفاظ بسجلات تدون فيها الفترات بين الأعطال لكل وحدة روبوتية ، وفترات الإصلاح ، وتشخيص سبب العطل وطريقة إصلاحه ، لفترات زمنية طويلة حتى يمكن ، استنادا إلى الطرق الإحصائية المعروفة ، إدخال التحسينات على نظام الصيانة الوقائية بالمصنع وصولا للأداء الأمثل .

أما العنصر الثالث والأخير ، الذى لا يكتمل أى نظام للصيانة بدونه ، فهو « قطع الغيار » .

وتتكون الآلية الروبوتية عادة من عدد كبير من الأجزاء التى يتراوح عددها بين عدة مئات إلى عدة آلاف .

ويتعرض بعض من هذه الأجزاء أثناء التشغيل إما إلى « نَحْر » أو « بِلى » تدريجى أو « كَلال » مفاجىء يترتب عليه ، فى حالة إهمال الاستبدال ، تعطل الروبوت أو اختلال أدائهَ .

وينبغى للشركة المستخدمة للروبوت الاحتفاظ بمخزون مناسب من قطع الغيار لمواجهة متطلبات الاستبدال . كما يجب عليها طلب قائمة من المورد بأنواع وبأسعار قطع الغيار اللازمة لتشغيل الروبوت لفترة زمنية محددة (عام أو عامين ، على سبيل المثال) ، واعتبار ذلك جزءا لا يتجزأ من العروض التى يتقدم بها المنتجون المتنافسون .

وفى كثير من الأحيان ، تقدر التكاليف السنوية لقطع الغيار بنحو ١٠٪ من التكلفة الأصلية للروبوت .

ويتأرجح موقف الشركة المستخدمة للروبوت من قطع الغيار بين حالتين على طرفى نقيض . الحالة الأولى ، عدم الاحتفاظ بأى مخزون من قطع الغيار اللهم إلا النذر اليسير من القطع بالغة الأهمية .

والحالة الثانية ، الاحتفاظ ببديل كامل للآلة الروبوتية على نحو يجرى معه استبدال الروبوت التالف بآخر بديل إلى أن يتم إصلاحه خارج خط الإنتاج .

وتصل تكلفة تخزين قطع الغيار إلى حدها الأدنى فى الحالة الأولى ، وإلى حدها الأقصى فى الحالة الثانية . ويقابل ذلك ، ارتفاع خسارة التعطل إلى حدها الأقصى فى الحالة الأولى ، وانخفاضها إلى حدها الأدنى فى الحالة الثانية .

ويتوقف قرار الشركة وموقعه بين الحالتين على التوازن المطلوب بين تكلفة التخزين وخسارة التعطل بحيث تأتى المُحصلة النهائية فى صالح اقتصاديات العملية الإنتاجية .

وتشمل تكلفة التخزين عادة ، تكلفة الحيز المخصص للاحتفاظ بمخزون استراتيجى من قطع الغيار ، مضافا إليها تكلفة الفائدة على رأس المال المُعطل فى صورة مخزون لقطع الغيار . أما تكلفة شراء قطع الغيار ذاتها فلا تدخل فى حساب تكلفة التخزين ، إذ أنها لازمة لمواصلة الإنتاج فى كلتا الحالتين .

أما خسارة التعطل ، فيجرى حسابها على أساس الفرق فى وقت التعطل ، بسبب عدم توافر قطع الغيار فى المخزن حالة الاحتياج إليها ، مضروبا فى ربحية ساعة التشغيل .

ويحتاج الأمر إلى حصافة مصممى برامج الصيانة فى تقدير احتياجاتهم من قطع الغيار سريعة التلف ، فكلما زادت معدلات استهلاك قطع غيار معينة وانخفضت تكلفتها ، كان ذلك أدعى للاحتفاظ بمخزون كبير نسبيا منها مقارنة بقطع الغيار التى تمر فترات طويلة قبل أن تدعو الحاجة إلى استبدالها ، خاصة إذا كانت هذه القطع عالية التكلفة .

ولزيادة الأمر إيضاحا ، نسوق المثال التالى :

أراد مدير الصيانة بأحد مصانع السيارات التى تستخدم خلايا روبوتية فى أعمال اللحام بالمصنع ، أن يحدد المخزون الأمثل من قطع الغيار الذى يحقق له أدنى تكلفة تشغيل ، فى ضوء ما توافر لديه من البيانات التالية :

- فترة الإصلاح « ص » = ٢ ساعة ، فى حالة توافر قطع الغيار بالمخزن .
- تكلفة ساعة واحدة من التعطل « ع » = ٣٠٠ دولار .
- الفترة اللازمة لجلب قطع الغيار من الوكيل « و » = ٨ ساعات .
- تتحمل الشركة تكلفة إضافية « ف » = ١٥٠ دولارا . للإسراع بإجراءات الشراء فى كل تَعَطل ، زيادة على القيمة الطبيعية لتكلفة قطع الغيار المطلوبة .
- إجمالى عدد ساعات تشغيل الوحدة الروبوتية « س » = ٢٠٠٠ ساعة تشغيل فى السنة .
- الفترة الزمنية المتوسطة لتكرار العُطْل « ز » = ٢٠٠ ساعة .
- تكلفة التخزين « ك » = ٠,٢٥ فى السنة من قيمة قطع الغيار المخزونة .
- تم تقدير الاحتياجات من قطع الغيار فى سبع حالات تتراوح بين انعدام وجود مخزون لقطع الغيار (معامل تغطية « ت » = صفر ، ومعامل عدم تغطية « م » = ١) وبين وجود مخزون كامل لقطع الغيار المطلوبة (« ت » = ١ ، و « م » = صفر) ، وتم صف النتائج فى الجدول التالى :

مستوى التخزين	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧
تكلفة قطع الغيار « ع » (دولار)	صفر	١٥٠٠٠	٣٠٠٠٠	٦٠٠٠٠	٩٠٠٠٠	١٢٠٠٠٠	٢٤٠٠٠٠
معامل التغطية « ت »	صفر	٠,٢٥	٠,٤٠	٠,٦٥	٠,٨٠	٠,٩٠	١,٠٠
معامل عدم التغطية « م »	١,٠٠	٠,٧٥	٠,٦٠	٠,٣٥	٠,٢٠	٠,١٠	صفر

بدأ مدير الصيانة فى حساب تكلفة حدوث العطل فى حالتين :

(أ) فى حالة وجود تغطية كاملة من قطع الغيار :

التكلفة = عدد ساعات الإصلاح × تكلفة ساعة التعطل

ل١ = ص × ع

ل١ = ٢ × ٣٠٠ = ٦٠٠ دولار

(ب) فى حالة انعدام وجود مخزون لقطع الغيار :

التكلفة = (عدد ساعات الإصلاح + عدد ساعات جلب قطع الغيار) × تكلفة ساعة التعطل + الزيادة فى تكلفة الشراء المتعجل .

ل٢ = (ص + و) × ع + ف

ل٢ = (٢ + ٨) × ٣٠٠ + ١٥٠ = ٣١٥٠ دولارا

ثم قام بحساب عدد مرات تكرار العطل فى السنة :

ر = عدد ساعات التشغيل السنوية / الفترة بين العطلين بالساعة

ر = س / ز = ٢٠٠٠ / ٢٠٠ = ١٠ مرات

وأتبع ذلك بحساب التكلفة السنوية الشاملة للتعطل والإصلاح فى كل حالة من حالات التخزين السبع ، وكان ذلك على الوجه التالى :

التكلفة السنوية الشاملة = نسبة تكلفة التخزين × تكلفة قطع الغيار + عدد مرات تكرار العطل سنويا × (معامل التغطية × تكلفة التعطل بالتغطية) + عدد مرات تكرار العطل سنويا × (معامل عدم التغطية × تكلفة التعطل بدون تغطية)

التكلفة السنوية الشاملة = ك × ع + ر (ت×ل١) + ر (م×ل٢)

وباتخاذ مستوى التخزين (٣) فى الجدول السابق على سبيل المثال :

التكلفة السنوية الشاملة (٣) = ٠,٢٥ × ٣٠٠٠٠ + ١٠ (٠,٤ × ٦٠٠) + ١٠ (٠,٦ × ٣١٥٠) = ٢٨٨٠٠ دولار .

قام مدير الصيانة بعد ذلك بصف نتائجه فى الجدول التالى :

مستوى التخزين	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧
تكلفة قطع الغيار « ع » (دولار)	صفر	١٥٠٠٠	٣٠٠٠٠	٦٠٠٠٠	٩٠٠٠٠	١٢٠٠٠٠	٢٤٠٠٠٠
التكلفة السنوية الشاملة للتعطل والإصلاح (دولار)	٣١٥٠٠	٢٨٨٧٥	٢٨٨٠٠	٢٩٩٢٥	٣٣٦٠٠٠	٣٨٥٥٠٠	٦٦٠٠٠٠

يلاحظ من الجدول السابق أن مستوى التخزين (٣) يحقق للمصنع أقل تكلفة سنوية شاملة ، وعليه فقد شرع مدير الصيانة فى تقدير احتياجاته السنوية من قطع الغيار بما قيمته ٣٠٠٠٠ دولار .

وتجدر الإشارة إلى أن ظروف السوق فى الدول العربية المختلفة لها تأثيرها الكبير على التكلفة السنوية الشاملة للتعطل والإصلاح . ففى ظروف السوق المغلقة ، تعطى الأولوية عادة لتوفير مخزون كاف من قطع الغيار بصرف النظر عن الاعتبارات الاقتصادية ، أخذا فى الاعتبار صعوبة إجراءات الاستيراد وما تستغرقه من فترة زمنية طويلة .

أما فى ظروف السوق الحرة ، فيمكن إلى حد كبير مراعاة الجانب الاقتصادى عند تقدير احتياجات الشركة المستخدمة للروبوتات من ناحية قطع الغيار اللازمة لأعمال الصيانة .

ثانيا : المتطلبات الاجتماعية وظروف العمالة

لم يثر أى من الإنجازات التقنية الحديثة ما أثارته الروبوتية من جدل حول تأثيرها على الأوضاع الاجتماعية وظروف العمالة . وقد بينا فيما سبق ، كيف واجهت المخترعات التقنية على مر التاريخ الحديث هجوما اجتماعيا وعماليا بسبب مظنة تأثيرها على أرزاق العمال والبيئة المحيطة . وليس فى الأمر غَرابة إذن أن يؤدى انتشار التقنيات الروبوتية إلى مشكلات اجتماعية ، خاصة فى الأوساط العمالية . وإذا كانت هذه هى الحال فى الدول الصناعية المتقدمة التى قطعت شوطا بعيدا فى مجال أتمتة عملياتها الإنتاجية ، فما بالنا والكثير من المجتمعات العربية لم تزل تعتمد على العمالة اليدوية فى كثير من نشاطاتها الاقتصادية .

ونحن إذ نؤكد ضرورة دراسة تأثير الروبوتية على العمالة والمجتمع ، نؤكد أيضا ضرورة إبراز التأثيرات الإيجابية الأخرى التى تُصاحب انتشار التقنيات الروبوتية من تنمية للإنتاج ولرؤوس الأموال ، ومن تقوية لإمكانات المنافسة فى الأسواق الدولية ، ومن فتح آفاق جديدة لمهارات حرفية عالية المستوى ، ومن ارتفاع بمستوى الخدمات والرفاهية فى المجتمع . وإذا كنا لانستطيع الآن إغفال ما أحدثه غزو الحواسيب من آثار اقتصادية واجتماعية فى المجتمعات العربية ، فسوف يتعذر علينا أيضا فى المستقبل القريب إغفال تأثير الروبوتات على هذه المجتمعات فى المجالين الاقتصادى والاجتماعى .

ومن الأمور المثيرة للتأمل ، ما نلاحظه من وجود فجوة زمنية تقدر بنحو عشر سنوات بيننا وبين الدول الصناعية الكبرى فيما يختص بإثارة الاهتمام بالقضايا التقنية ذات الصلة الوثيقة بالبيئة والمجتمع . حيث لوحظ ذلك على سبيل المثال عند إثارة قضية الطاقة فى منتصف السبعينيات فى أمريكا وأوروبا ، إذ بدأت الاستجابة لذلك فى العديد من الدول العربية مع منتصف الثمانينيات . وكذلك ما حدث من إثارة قضية التنمية والبيئة هناك فى بداية الثمانينيات ، وما نشاهده الآن لدينا من إثارة لهذه القضية مع بداية التسعينيات . وقد حدث ذلك أيضا بالنسبة للحواسيب الشخصية . وتقودنا هذه الملاحظة إلى توقع حدوث اهتمام بالتأثيرات الاجتماعية للروبوتية فى العالم العربى فى النصف الثانى من التسعينيات . ومما هو جدير بالذكر أن أول حلقة دراسية لبحث التأثيرات الاجتماعية للروبوتية فى الولايات المتحدة الأمريكية قد عقدت فى يوليو ١٩٨١ ، وقد نظمها مكتب تقويم التقنيات Office of Technology Assessment بواشنطن ونشرت نتائجها فى فبراير ١٩٨٢ . وتناولت الدراسة بشكل عام تأثير الروبوتية على رفع كفاية الإنتاج وتعظيم الأصول الرأسمالية ، والعمالة المباشرة والماهرة ، ودور الاتحادات العمالية ، والمنافسة الاقتصادية الدولية ، والتدريب والتعليم .

وسوف نحاول فيما يلى تقويم عدد من الجوانب الاجتماعية للتقنيات الروبوتية لتكتمل الصورة لدى القارىء بشأن إمكانات تطبيقها فى مجتمعاتنا العربية .

رفع كفاية الإنتاج وتعظيم الأصول الرأسمالية :

بينا فيما سبق ، عند التعرض للتحليل الاقتصادى للتطبيقات الروبوتية ، ما يؤدى إليه استخدام الروبوتات من زيادة فى الإنتاج وتقليل فى التكلفة . وسوف نستعين فيما يلى بالنتائج التى حققتها الاستخدامات الروبوتية فى بعض الدول الصناعية للدلالة على الآثار الإيجابية للروبوتات فى مجال رفع الكفاية الإنتاجية .

ونبدأ أولا بتعريف الإنتاجية productivity :

الإنتاجية هى خارج قسمة العنصر أو العناصر المُنتَجة على عنصر أو عناصر المدخلات :

$$\text{الإنتاجية} = \frac{\text{الوحدات المُنْتَجَة}}{\text{وحدات المدخلات}}$$

وهى ، خلافا لما هو شائع ، لاتعنى كمية الوحدات المُنْتَجة فقط .

ويكون من المناسب فى كثير من الأحيان استخدام الوحدات المالية أو النقدية فى حساب البسط لمختلف أنواع الإنتاجية لتسهيل المقارنة .

فلو قسمنا قيمة الإنتاج بالدولار مثلا على عدد ساعات العمالة اللازمة للحصول على هذه القيمة ، لحصلنا على رقم يعبر عن إنتاجية ساعة العمالة بالدولار .

ولو فعلنا ذلك بالنسبة للتكلفة الرأسمالية للمعدات الإنتاجية ، لحصلنا على إنتاجية الدولار من رأسمال المعدات ، ... وهكذا .

وتشمل وحدات المدخلات عادة : ساعات العمالة ، ورأسمال المعدات ، والمعارف التقنية ، وتكلفة التدريب . وفى أحيان كثيرة ، يكون من المناسب دمج جميع المدخلات معا وتقويمها ماليا للحصول على ما يعرف « بإنتاجية العوامل المجتمعة » (Total Productivity) وذلك بقسمة قيمة الإنتاج على إجمالى قيمة المدخلات .

وتُعتبر المعارف التقنية Technical Knowledge من العناصر الدينامية فى تقويم الإنتاجية ، إذ يؤدى تراكم هذه المعارف إلى تحسين الكفاية الإنتاجية بمضى الوقت . ولنضرب مثالا على ذلك : الوحدات الروبوتية . فهذه الوحدات يمكن إحلالها فى عناصر المدخلات الإنتاجية محل العمالة البشرية ، إلا أن تراكم المعارف التقنية فى مجال الروبوتات أدى إلى تغيير فى القيمة الإنتاجية لها . فالروبوت الذى يمكن شراؤه اليوم ، ربما بنفس سعر شراء الروبوت المماثل فى الغرض الإنتاجى من عشر سنوات ، يتميز حاليا ببعض خصائص الذكاء الاصطناعى ، وسهولة البرمجة ، والدقة وسلاسة الاتصال والتحكم عن بعد ، إلخ . وتعمل هذه الميزات مجتمعة على رفع قيمة الانتاج وتغيير مؤشر الإنتاجية تبعا لذلك . ولايقتصر دور المعارف التقنية على ما تُحدثه من تطوير فى المعدات الروبوتية ، وإنما يمتد دورها ليشمل تطوير الخبرات الإدارية اللازمة لتشغيل الوحدات الروبوتية ، مثل استخدام الحواسيب فى

تخطيط الاحتياجات من مواد خام وقطع غيار والتحكم فى المخزون وإعداد برامج الصيانة الوقائية وما أشبه .

وخلاصة القول ، أن الروبوتات بتضمينها فى عناصر المدخلات فى مؤشرات الإنتاجية لها أثرها على تقويم كل من عناصر العمالة ورأس المال والمعارف التقنية ، برغم دخولها من حيث المفهوم محل العمالة البشرية فى العملية الإنتاجية . إلا أن هناك بعدا اجتماعيا مهما لإحلال الروبوتات محل العمالة البشرية فيما يختص بالإنتاجية . فالعمال ميالون إلى تقويم فرص العمل انطلاقا من دوافع مالية وعاطفية ذات ارتباط وثيق بذواتهم وأحوالهم الأسرية ، حتى لو أدى الأمر إلى التضحية بتحسين الإنتاجية . وتزداد هذه النزعة فى مجتمعاتنا الشرقية بشكل حاد يدركه كل من زاول المهام الإدارية فى القطاع الصناعى .

ولسنا هنا بصدد المفاضلة أو إصدار حكم نهائى بشأن استخدام الروبوتات محل العمالة البشرية بقدر اهتمامنا ببيان بعض أوجه المقارنة التى سوف تعين متخذى القرار على تقدير الأمور من جميع جوانبها .

يتوقف تأثير الروبوتات على الإنتاجية ، إلى حد كبير ، على طبيعة العملية الإنتاجية من ناحية الكم والاستمرارية . ففى حالات الإنتاج المتقطع (الإنتاج على دفعات بحسب الطلب) متوسط وصغير الحجم ، تتوقف الإنتاجية بشكل كبير على العمالة البشرية ، وتتميز عادة بالافتقار إلى استخدام المكنات والمعدات الكبيرة ، وبانخفاض الإنتاج بشكل عام .

وفى دراسة أجراها معمل « لورنس ليفرمور » القومى (Lawrence Livermore National Laboratory) بالولايات المتحدة الأمريكية على بعض الصناعات الهندسية التى تعتمد على آلات الورش ، فى النطاق الإنتاجى متوسط وصغير الحجم ، أوضح التحليل الزمنى المقارن للعمليات ، اعتماد الإنتاج فى هذا النطاق على العمالة البشرية بشكل كبير . وقد بين التحليل أن هذا الاعتماد هو فى حد ذاته السبب المباشر فى انخفاض حجم الإنتاج . ويرجع ذلك إلى عدد الساعات الإنتاجية المهدرة فى وردتى (فترتى) العمل الثانية والثالثة وعطلات نهاية الأسبوع والأعياد . ففى حالة الإنتاج المتقطع منخفض المستوى يضيع ٣٤٪ من وقت العمل بسبب توقف الورشة أو المصنع ، كما يضيع ٤٤٪ من الوقت بسبب وردية العمل الثالثة . ويقابل هذا ضياع ٢٨٪ و ٤٠٪ من الوقت لنفس الأسباب فى حالة الإنتاج المتقطع متوسط الحجم . على حين لا يتجاوز الوقت المهدر ٢٧٪ على الإجمال فى حالة الصناعات مستمرة

وعالية الإنتاج ، ويكون أساسا بسبب توقف المصنع فى إجازات نهاية الأسبوع والأعياد وليس بسبب ورديتى الإنتاج الثانية والثالثة .

لو تصورنا فى الحالات السابقة ، إمكان مواصلة العمل لمدة ٧ أيام فى الأسبوع على ثلاث فترات يومية لمدة ٢٤ ساعة ، وبدون توقف فى الأعياد الرسمية ، لأمكننا الاستفادة من ٧٨٪ من الوقت الضائع فى الصناعات الصغيرة ، و ٦٨٪ من هذا الوقت فى الصناعات المتوسطة ، مقابل ٢٧٪ من الوقت الضائع فى الصناعات مرتفعة الإنتاجية . ولا يتأتى هذا إلا باستخدام التقنيات الروبوتية .

وهناك أيضا ارتباط وثيق بين زيادة الإنتاجية وتعاظم الأصول الرأسمالية المخصصة للإنتاج . إذ يُجمِع الاقتصاديون على وجود علاقة جدلية بينهما ، حيث يؤثر كل منهما على الآخر . والذى لاشك فيه أن توافر رأس المال واستعداد المستثمرين لدفعه باتجاه التقنيات الروبوتية سوف يكون العامل الحاسم فى انتشار هذه التقنيات . وفى ظروف السوق الحرة ، يُقْبل المستثمرون على فرص العمل ذات المردود السريع ، وعلينا أن نتوقع أن الظروف الاجتماعية للعمالة وما تتجه إليه من توفير أكبر لمتطلبات الرفاهية وخفض ساعات العمل ، سوف تكون هى المحرك الأساسى لتعاظم الأصول الرأسمالية المخصصة للإنتاج الروبوتى .

ومن المتوقع فى ظروفنا المحلية ، التى ما زالت حتى الآن أسيرة لعوامل السوق المغلقة فى العديد من الدول العربية ، بالإضافة لانخفاض متطلبات الرفاهية العمالية ، أن يعوق ذلك إلى حد ما توفير رأس المال اللازم للاستخدامات الروبوتية فى المستقبل القريب .

تأثير الروبوتات على العمالة المباشرة :

أوضحنا فى الفصل الأول من هذا الكتاب ، نمو السوق الروبوتية بشكل مطرد وفقا لأحدث الإحصائيات التى جرت فى الولايات المتحدة الأمريكية واليابان . ومن غير المنطقى ، ألا يؤثر هذا النمو على الاحتياج للنوعيات المختلفة من العمالة البشرية . إذ يؤدى تركيب أى روبوت جديد فى خط إنتاجى إلى الاستغناء عن عامل واحد على الأقل ، وقد يزيد العدد حتى يصل إلى خمسة عشر عاملاً فى بعض التطبيقات . وبالنسبة لما هو قائم فعلا من منشآت صناعية ، فإن تركيب الروبوتات سوف يؤدى إلى الاستغناء بشكل مباشر عن بعض العمالة التى تقوم بالأعمال اليدوية أو شبه اليدوية . أما بالنسبة للمشروعات الجديدة ، فسوف يؤدى تصميمها على أساس استخدام الروبوتات إلى الحد من فرص العمل الجديدة فى المصانع تحت الإنشاء .

ومن الممكن استقراء عدد العمالة التى سوف يُستغنى عنها استنادا إلى حجم إنتاج الروبوتات ، أخذا فى الاعتبار الرقم المتوسط لعدد العمال الذين يحل الروبوت محلهم فى العمليات الإنتاجية (يحل الروبوت فى المتوسط محل ٣ عمال بشريين) . إلا أن هذا الاستقراء يشوبه عدم الدقة بسبب تجاهل ما تتيحه صناعة الروبوتات ذاتها من فرص عمل جديدة ، وإن لم تكن فى نفس المجال الإنتاجى .

وقد يكون من المفيد إيجاز نتائج الاستقراء الذى قام به مكتب الإحصائيات العمالية (بالولايات المتحدة الأمريكية) Bureau of Labor Statistics بشأن تأثير الروبوتات على العمالة المباشرة فى مجال التصنيع . إذ أوضحت النتائج أنه من بين ١٠٣ ملايين فرصة عمل فى بداية التسعينيات يوجد نحو ١٩ مليون فرصة عمل مباشرة أو غير مباشرة فى عمليات التشغيل المرشحة لاستخدام الروبوتات . فإذا أخذنا فى الاعتبار عدد الروبوتات المتوقع إنتاجها فى الفترة نفسها مضروبا فى ثلاث فرص عمل متوقع فقدها مع تشغيل كل روبوت جديد فإن عدد فرص العمل المفقودة يساوى نحو ١٣٠٠٠٠ فرصة ، أو ما يعادل ٠,١٣ بالمائة فقط من إجمالى فرص العمل داخل الولايات المتحدة . وهذا الرقم صغير جدا بالمقارنة بمعدل البطالة الفعلى الذى يصل إلى نحو ٨٪ من إجمالى العمالة . أما إذا جرت المقارنة على أساس فرص العمل المفقودة فى مجال عمليات التشغيل التى يُحتمل استخدام الروبوتات فيها ، فإن النسبة السابقة سوف ترتفع إلى نحو ٠,٦٩٪ .

وسوف يكون التأثير الأكبر لنقص فرص العمالة من نصيب العمالة المباشرة التى تقوم عادة بالأعمال اليدوية ذات الإمكانات الفنية المتواضعة . أما العمالة غير المباشرة التى تزاول عادة مهام الصيانة والاختبار والبرمجة والتركيب وتتبع الأعطال للتركيبات الروبوتية ذاتها ، فإنها سوف تحظى برواج نسبى ، وسوف يؤدى هذا على وجه العموم إلى التأثير فى نوعية ومهارة العمالة أكثر من تأثيره على إجمالى فرص العمل المتاحة . كما سوف يصاحب تعاظم دور الروبوتات إعادة توجيه أعمال التدريب والتأهيل المهنى باتجاه التقنيات المتقدمة .

أما بالنسبة للدول العربية ، فمن غير المنتظر على المدى القريب ، أن يؤدى استخدام الروبوتات إلى بطالة مثيرة للقلق بسبب ضآلة مساهمة النشاط التصنيعى فى إجمالى العمالة الفعالة فى هذه الدول . أضف إلى ذلك تضاؤل نسبة النشاط الصناعى المؤهل للإحلال الروبوتى مقارنة بالحجم الكلى للنشاط الصناعى فيها .

تأثير الروبوتات على العمالة الماهرة :

بدخول الروبوتات مجال التصنيع ، سوف تتزايد درجة الأتمتة فى العمليات الإنتاجية ، مما يترتب عليه حدوث تغير كبير في نوعية الكوادر الفنية المطلوبة للعمل . فمن المتوقع الاستغناء بدرجة كبيرة عن العمالة المباشرة ، وفى الوقت نفسه ، سوف يتزايد الاحتياج لنوعيات خاصة من العمالة فى مجالات تخطيط المشروعات ، وصيانة المكنات ، وترشيد العمليات ، ونظم الحواسيب والبرامج الجاهزة ، وتحليل النظم .

وسوف يؤدى تزايد درجة أتمتة النشاطات الإنتاجية إلى الاعتماد على نظم التصميم بمساعدة الحاسوب computer-aided design (CAD) والتصنيع بمساعدة الحاسوب computer-aided manufacturing (CAM) . ويحتاج التخطيط لهذه النشاطات إلى الكثير من الأعمال الروتينية والكتابية المضنية التى تشمل فى كثير من الأحيان تجهيز ما يُعرف بصُحُف المسار route sheets الخاصة بتخطيط العمليات ، وتقدير الاحتياجات من المواد الخام وقطع الغيار ، وإعداد مستندات الشراء ، وما أشبه . وقد تبينت الحاجة إلى دمج نظم التصميم مع نظم التصنيع بمساعدة الحواسيب للتخلص من العبء الكبير للأعمال الروتينية المتكررة الخاصة بالإنتاج المخطط . وقد ظهر ذلك فى صورة برامج جاهزة software packages تشتمل على ما يُعرف بالتخطيط للعمليات بمساعدة الحاسوب computer-aided process planning (CAPP) ، وتخطيط احتياجات المواد material requirements planning (MRP) ، والبرمجة المؤتمتة لعناصر التحكم الرقمى . وهذه البرامج مُتاحة حاليا رغم عدم انتشار استخدامها على نطاق واسع .

ومع الاستغناء التدريجى عن العمالة اليدوية المباشرة ، سوف يقل الاحتياج لما يعرف بقياس الأعمال work measurement بشكله التقليدى الذى يتضمن دراسة الوقت المباشر direct time study ، واستخدام نظم الحوافز المعتمدة على تقدير معدل القطع المنتجة piece rate incentive systems . وسوف يتعرض المهندسون الصناعيون industrial engineers تبعا لذلك إلى تحدٍ جديد يتمثل فى صعوبة تقدير مقاييس الأعمال وتصميم نظم الحوافز المناسبة للعمالة غير المباشرة التى تقوم بتشغيل المكنات والمعدات فى المصانع المؤتمتة ، بالإضافة إلى ظهور أنواع جديدة من تنميط الأعمال ، وتوصيف جودة المنتجات ، والحصيلة الإنتاجية production yield ، ووقت الوصول lead time ، والمؤشرات الأخرى الخاصة بتقويم العمليات الإنتاجية .

وسوف يؤدى استخدام الروبوتات كذلك إلى تغيير المتطلبات التقليدية الخاصة بالكفاءات الهندسية فى المجتمع الصناعى . إذ تعتمد التقنيات الروبوتية على اقتران المهارات فى مجال الحواسيب بالمهارات الخاصة بتصميم أدوات التشغيل ونظم التحكم وتخطيط العمليات . وتحتاج الروبوتية بذلك إلى درجة عالية من التآلف بين الهندسة الكهربية بمفهومها التقليدى ، والاقتصاد الهندسى ، وتصميم وتخطيط أماكن العمل ، والبرمجة الروبوتية . وعلى ذلك ، يحتاج مهندس العصر الروبوتى أن يضيف إلى مهاراته التخصصية نوعا جديدا من المهارات يمكن أن نطلق عليه « المقدرة على الترابط مع المهارات الأخرى » ، الذى يحتاج إلى دراسة وممارسة أساسيات التخصصات المُكمِّلة ، وذلك حتى يمكن إيجاد لغة مشتركة وإحداث تجانس فى الأداء بين طاقم العمل الواحد المشرف على التطبيق الروبوتى .

ويحتاج الإعداد لاستقبال العصر الروبوتى فى الدول العربية إلى إعادة النظر فى التعليم الهندسى القائم بتقسيماته النمطية فى هذه الدول ، وذلك لتوفير الكوادر الهندسية القادرة على ممارسة العمل فى خطوط الإنتاج المؤتمتة بوجه عام ، وممارسة العمل فى المشروعات الروبوتية بوجه خاص .

وقد ظهرت بعض المبادرات فى التعليم الهندسى الجامعى ، فى مصر على سبيل المثال ، باستحداث أقسام هندسية خاصة ، فيها يتم المزج بين تخصصات هندسية ، تبدو متباينة فيما بينها ، لخدمة غرض تخصصى عام . ونقصد بذلك قسم الهندسة الطبية الذى يدرس فيه الطالب أساسيات الهندسة الكهربية والميكانيكية والكيميائية وبعض العلوم الطبية مثل وظائف الأعضاء والتشريح وما أشبه ، وذلك لتحقيق الغرض الخاص بتنمية الكوادر القادرة على تصميم المعدات والأجهزة الطبية .

ولانرى أن الأمر يختلف كثيرا فى ضرورة استحداث بعض الأقسام الهندسية التى تولى عناية خاصة لتنمية المقدرة على الترابط بين التخصصات الهندسية المختلفة ذات الصلة بالتقنيات الروبوتية والإنتاج المؤتمت .

الروبوتات والاتحادات العمالية :

قد يبدو للوهلة الأولى وجود تعارض جوهرى بين مصالح الاتحادات العمالية وبين انتشار التقنيات الروبوتية على نحو يتعذر معه تحييد هذه الاتحادات أو حتى التقليل من معارضتها لانتشار هذه التقنيات . ولعله من السابق لأوانه الفصل بين التقنيات الروبوتية وغيرها من التقنيات الخاصة بأتمتة العمليات الإنتاجية بوجه عام

فيما يختص بمواقف الاتحادات العمالية . إذ أن الروبوتات ، رغم تعاظم دورها فى السنوات الأخيرة ، لا يمكن تمييزها بدور مستقل فيما يختص بتأثيرها على حجم البطالة فى المجتمعات الصناعية ، وهى تقف بذلك فى خندق واحد مع التقنيات الأخرى التى يؤدى انتشارها إلى تحجيم العمالة المباشرة فى مجتمع من المجتمعات .

إلا أن ما أدركته الاتحادات العمالية المستنيرة من حتمية تغلب اتجاه التحديث فى نهاية الأمر ، قد دفعها إلى محاولة التلاؤم مع هذا الاتجاه فى الدول ذات الاقتصاد الحر بسلوك أحد مسلكين :

المسلك الأول ، الاتجاه إلى ضم نوعيات العمالة غير المباشرة والعمال ذوى المهارات المتوسطة إلى صفوفها جنبا إلى جنب مع العمالة المباشرة فى محاولة لاستعاضة ما قد يحدث من تناقص فى مواردها بسبب تزايد البطالة بين صفوف العمالة المباشرة التى تمثل المورد الأساسى لهذه الاتحادات .

والمسلك الثانى ، يتمثل فى محاولة المساهمة والمشاركة فى الفوائد المكتسبة من انتشار الأتمتة لحساب أعضائها .

ورغم النجاح النسبى الذى حققته بعض الاتحادات العمالية فى مجال ضم أعضاء جدد من العمالة الماهرة إلى صفوفها فإن كثيرا من العمال المهرة لا يرون فائدة كبيرة من الانضمام إلى الاتحادات العمالية العامة ويفضلون الاتجاه إلى التنظيمات المهنية الأخرى التى تحقق لهم فرصا أفضل للترويج المهنى والمكاسب المادية .

وقد حققت الاتحادات العمالية نجاحا أفضل فيما يختص بمحاولة الاستفادة من المزايا والمكاسب المادية التى يحققها انتشار التقنيات المتقدمة من خلال التعاقدات التى تهدف إلى المشاركة فى هذه المزايا والمكاسب . وقد شملت نشاطاتها فى ذلك المساهمة فى عمليات إعادة التدريب retraining ، وفى إعادة التوظيف reemployment ، وفى المشاركة مع الإدارة فى الأرباح الناتجة عن إحلال التطبيقات الحديثة ، وذلك لمصلحة أعضائها من العمال .

ومن أمثلة الاتحادات التى حققت نجاحا فى ذلك ، اتحاد « عمال السيارات المتحدين » United Auto Workers Union بالولايات المتحدة الأمريكية الذى تبنى اتجاها مؤيدا للتقنيات الحديثة ، وقد حدد دوافعه إلى ذلك فى أن هذه التقنيات لازمة وضرورية للتقدم الاقتصادى الذى سوف يستفيد منه فى المقام الأول العمال أنفسهم ، وذلك بالإضافة إلى ما تحققه هذه التقنيات من مزايا الأمان وخفض ساعات العمل وارتفاع مستوى الأجور والرفاهية .

إلا أن هناك مزايا أخرى شديدة الأهمية جنتها الاتحادات العمالية من مشاركتها الإدارة فى هذا المجال ، ونذكر منها على سبيل المثال : الحصول على المعلومات الكافية بشأن الخطط الخاصة بتطبيق التقنيات الحديثة ، ومحاولة الحد إلى أدنى درجة ممكنة من الاستغناء عن أعضائها عند اختيار المشروعات الجديدة ، والمساعدة على توفير فرص عمل بديلة عن طريق إعادة التدريب والتوظيف .

ومن الأمثلة الأخرى على السلوك الإيجابى تجاه التقنيات الحديثة ، ومنها الروبوتات ، ما تقدم به الاتحاد الدولى للميكنيين International Association of Machinists من مُقترح أطلق عليه « فاتورة الحقوق التكنولوجية » technology bill of rights ، ويعتمد فى فكرته على فرض ضريبة على الأتمتة وما يتعلق بها من تقنيات قد يترتب عليها الاستغناء عن العمال . وتقوم الشركة المستفيدة من هذه التقنيات بدفع نسبة من الوفر المالى الذى تحققه للإنفاق منها على إعادة تدريب العمال لإلحاقهم بوظائف بديلة .

ويمكن الاستفادة من التجارب السابقة للتخفيف من الآثار السلبية التى قد تنتج عن تطبيق نظم الأتمتة الحديثة والروبوتية فى الصناعة العربية . بل إن بعض هذه التجارب قد يصلح أساسا لمعالجة بعض المشكلات التى تواجه بعض الدول العربية عند محاولتها الاتجاه إلى الاقتصاد الحر ، حيث يمثل التخلص من العمالة الزائدة الشغل الشاغل لهذه الدول فى سبيلها لخصخصة القطاع الصناعى .

تحسين بيئة العمل ودرء المخاطر :

لقد تجاهل المنتجون الصناعيون لفترات طويلة الآثار السلبية لصناعاتهم على البيئة وجو العمل . إلا أن ذلك لم يعد ممكنا فى عالم يئن من وطأة التلوث وما يسببه للبشرية من كوارث وأمراض وآلام . وعلى ذلك ، ينبغى تقويم التقنيات الجديثة ، ومنها الروبوتات ، على أساس آثارها السلبية والإيجابية على البيئة .

فمن النواحى الإيجابية الظاهرة للروبوتات ، إمكان استخدامها فى بيئات العمل الخطيرة وإعفاء العمالة البشرية من مخاطر التعرض للإشعاعات والغبار والانبعاثات الضارة ، وتحمل الآثار المدمرة الناتجة عن العمل فى ظروف درجات الحرارة المرتفعة واستنشاق الكيماويات والتعرض للضوضاء الشديدة ، وتداول الأحمال التى ينوء بها البشر . ويؤدى كل ذلك إلى تحسين مستوى الرفاهية للعمالة البشرية والمحافظة على القوى المنتجة فى المجتمع .

ولكن هناك نواح أخرى أكثر خفاء لها آثارها السلبية على العمالة البشرية من

ناحية جو العمل . فالتقنيات الروبوتية البسيطة وغير تامة الأتمتة ، تستدعى تحجيم دور العمالة البشرية فى المجالات التصنيعية المباشرة وقصر دورها على بعض عمليات التثبيت والتداول التى تُفقد العامل بالتدريج مهاراته وتصيبه بالسأم والملل وتحيله إلى أداة ميكانيكية بسيطة فى منظومة الخلية الروبوتية بالغة التعقيد .

أما التقنيات الروبوتية المتطورة والتى تكاد تبلغ فيها درجة الأتمتة حد الكمال ، فإنها تلقى على العمالة البشرية أعباء لم تعتدها من قبل ، فمع الاستغناء التام عن العمالة المباشرة ، يمكن لعامل ماهر واحد أن يقوم بمتابعة خط إنتاجى بأكمله من خلال غرفة المراقبة ، ويتوجب عليه فى هذه الحالة الإلمام بجميع تفاصيل العملية الإنتاجية برمتها . وعليه فوق ذلك أن يتمتع بدرجة عالية من الانتباه والتركيز لفترات طويلة تجنبا لوقوع المشكلات والأعطال .

ورغم ارتفاع أجر هذه النوعية من العمالة ، فإن صاحب العمل يحاول مقابل ذلك الاستفادة القصوى من إمكاناتها لصالح العمل . ويؤدى ذلك فى النهاية إلى زيادة درجة الإجهاد العصبى والنفسى على العامل إلى الحد الذى قد يصيبه بأضرار صعبة من نوع آخر مخالف للأضرار الصحية المباشرة التى كان العامل البشرى معرضا لها بسبب تلوث بيئة العمل .

وقد يُخفف من هذه الآثار السلبية إجراء تعديل فى قوانين العمل لإدخال هذه المتغيرات الجديدة فى التشريعات الخاصة بتحديد ساعات العمل . إذ من غير المعقول الإصرار على الالتزام بتشريعات وقوانين عمالية وُضعت فى ظروف تقنية مختلفة تمام الاختلاف عما نشهده حاليا ، وسوف نشهده ، من ثورة فى الأتمتة والروبوتيات غيرت الكثير من المفاهيم الخاصة ببيئة العمل وحقوق العامل . إذ ينبغى الربط فى هذه القوانين بين عدد ساعات العمل وبين طبيعة الوظيفة التى يقوم بها العامل من حيث تأثيرها على الصحة النفسية والعصبية ، وليس فقط تأثيرها على المجهود الجسمانى .

بناء الكوادر المدربة على استيعاب التغلغل الروبوتى فى الحياة الصناعية والاجتماعية :

[illegible] التدريب عند الحديث عن المتطلبات التقنية - الاقتصادية لنقل التقنيات الروبوتية إلى الأسواق العربية ، وذلك انطلاقا من المفهوم الاقتصادى والتقنى للتدريب . ونحن الآن بصدد الحديث عن التدريب من حيث مفهومه الاجتماعى .

تحتاج التقنيات الروبوتية بوجه خاص ، والأتمتة بوجه عام ، إلى تغييرات جوهرية فى مفهوم العمالة . ويحتاج نشر هذه التقنيات إلى تهيئة الأجواء العمالية للتعرف على الكثير من الخصائص التى تُميّز هذه التقنيات من العمليات الصناعية التقليدية .

فالعامل فى عصر الروبوت ، يتوجب عليه الإلمام بثقافات تقنية متنوعة ، كما يتوجب عليه إدراك كيفية الربط بين الأنواع المختلفة من التقنيات لإنجاز هدف إنتاجى محدد .

ونحن نفتقد ، ويفتقد الكثير من الدول الصناعية معنا ، المواد التعليمية المُصَمَّمة لمخاطبة هؤلاء العمال على قدر مستوياتهم الفنية والثقافية . ويؤدى هذا النقص إلى زيادة الفجوة وعدم الثقة بشأن التحديث الصناعى بين العمال من ناحية وبين المهندسين وأرباب العمل من ناحية أخرى . ومالم يتم تدارك هذا القصور ، فسوف تتعرض التقنيات الحديثة ومنها الروبوتات إلى مقاومة ، أو تجاهل على أفضل تقدير ، من القواعد العمالية الواسعة التى يُناط بها آخر الأمر القيام بالعملية الإنتاجية .

كذلك فإن المواطن العادى يفتقد المواد التعليمية المُبَسَّطة التى تضعه على أعتاب عصر الروبوتات . وسوف يعوق هذا من ناحية أخرى انتشار الروبوتات فى مجال الخدمات الشخصية والمرافق العامة .

أما على المستوى التقنى العالى فى الكليات الهندسية والمعاهد التقنية فمازال الأمر يحتاج إلى إعادة نظر فى أسلوب الفصل بين التخصصات ، وغياب المناهج التى تؤهل الخريج للربط بين التقنيات المختلفة فى تطبيق واحد .

ورغم شيوع مفاهيم « إعادة التدريب » فى الدول الصناعية وبعض الأقطار العربية التى تواجه مشكلة العمالة الزائدة ، فإن ما يشوب عمليات إعادة التدريب ، فى كثير من الأحيان ، من عدم التركيز على البناء المعرفى والفنى الأساسى للمتدرب ، كثيرا ما يفقد المتدرب الحماس لمواصلة البرنامج التدريبى .

ويختلف « إعادة التدريب » اللازم لنشر التقنيات الروبوتية عن مثيله الخاص باستيعاب العمالة الزائدة . إذ تحتاج التطبيقات الروبوتية إلى برامج إعادة تدريب تنقل المتدرب من مستوى تقنى أقل إلى مستوى تقنى أعلى ، فيه الكثير من التنوع ، والترابط فى الوقت نفسه بين التقنيات .

وقد بينا فى مقدمة الكتاب ما تتعرض له التقنيات الحديثة ، ومنها الروبوتات ، من تجاهل إعلامى محلى فى الكثير من الأقطار العربية ، مع ما للأجهزة الإعلامية

فى هذه الأقطار من تأثير جماهيرى يمكن الاستفادة منه بشكل مخطط لتهيئة المجتمعات العربية لعصر الروبوت .

المنافسة الدولية :

يمكن النظر للمنافسة الدولية فى مجال الروبوتات من منظورين مختلفين . المنظور الأول ، من ناحية إنتاج الآليات الروبوتية ، والمنظور الثانى ، من ناحية استخدام الروبوتات فى العمليات الإنتاجية لرفع كفاءتها وجودتها .

فمن ناحية تصنيع الآليات الروبوتية تقتصر المنافسة الفعلية فى هذا المجال على اليابان والولايات المتحدة الأمريكية وألمانيا ، مع نصيب ضئيل لكل من السويد وإيطاليا وفرنسا والمملكة المتحدة . إذ تبلغ مساهمة اليابان نحو ٦٦ ٪ ، وأمريكا ١٣ ٪ ، والمانيا ٩ ٪ ، من إجمالى الإنتاج الروبوتى العالمى .

ويُنتظر تغير خارطة المنافسة الدولية فى مجال إنتاج الروبوتات بدخول الأسواق العربية فى مجال الاستهلاك الروبوتى ، أو الاستثمار الروبوتى بشكل أكثر دقة . إذ مازالت غالبية الإنتاج الروبوتى موجهة للاستخدام فى البلدان المنتجة لها .

أما من ناحية استخدام الروبوتات فى العمليات الإنتاجية ، فتأتى اليابان فى مقدمة دول العالم ، وبفارق كبير بينها وبين الولايات المتحدة الأمريكية ، فى هذا المجال .

ويُعتبر الاستخدام الروبوتى هو الجانب الأكثر أهمية بالنسبة للدول العربية فى مجال المنافسة الدولية . إذ تحاول العديد من الدول العربية ذات المستوى التصنيعى المرتفع نسبيا أن تجد لها مكانا بين الدول الصناعية فى مجال تصدير منتجاتها إلى الأسواق الإقليمية القريبة أو إلى بعض دول العالم الصناعى . ومع ظهور التكتلات الصناعية الكبرى واحتدام المنافسة الدولية فى مجال التصدير ، تواجه دولنا العربية تحديا خطيرا يتمثل فى ضرورة الالتزام بمواصفات بالغة الصرامة من حيث الجودة . ويبدو أن هذه المواصفات قد وضعت لتلائم الدول الصناعية المتقدمة على نحو يتعذر معه اختراق الدول النامية لأسواقها دون التقيد بمواصفاتها .

وقد يصبح الإنتاج باستخدام الروبوتات فى المستقبل القريب إحدى الوسائل المهمة التى تساعد الصناعات المحلية العربية على تحقيق مستويات الجودة والكم الإنتاجى اللازمين للمنافسة فى الأسواق الخارجية .

خاتمـــــة

اطلعنا فى الفصل الأول من هذا الكتاب على الدور المشرف الذى قام به أجدادنا الأوائل فى إرساء الكثير من القواعد الفكرية والتقنية التى أسهمت فى ظهور الروبوتات بالشكل الذى نراها عليه حاليا . كما تبين لنا من الفصل الثانى كيف أن التقنيات الروبوتية ما هى إلا نتيجة طبيعية للثورة التقنية التى سبقتها فى مجالات الحواسيب والإلكترونيات وعلوم المواد ، وأن الروبوت ما هو إلا تتويج للمنجزات العملية والصناعية فى هذه المجالات مجتمعة .

وليس لنا إلا أن نستنتج مما سبق أن التواصل الحضارى مع ماضينا العريق من خلال الأخذ بمقومات الحضارة الصناعية المعاصرة ، هو سبيلنا للاستفادة الحقيقية من منجزات هذه الحضارة ومنها الروبوتية .

وقد تبين لنا بجلاء ، من خلال الفصل الثالث ، مدى تغلغل التقنيات الروبوتية فى مختلف المجالات الصناعية الحديثة ، على حين يتضح لنا من إلقاء نظرة على الواقع الصناعى العربى ، القصور الشديد فى الأخذ بمقومات تطبيق هذه التقنيات استعداداً للمنافسة الشرسة التى سوف يشهدها العالم بين التكتلات الاقتصادية الكبرى فى القرن الحادى والعشرين .

وقد تحقق لنا من خلال الاطلاع على الفصل الرابع نوع من الرؤية المستقبلية بشأن انتشار الروبوتات فى العالم وغزوها لمجالات صناعية وخدمية ، مما يدفعنا أكثر للإيمان بضرورة تمهيد الأرضية التقنية والاقتصادية لاستقبال الثورة الروبوتية القادمة ، دفعا للتخلف عن سباق التنمية ، وحتى يتحول موقفنا من الروبوتات من وضع الانبهار والإستمتاع بما تعرضه علينا وسائل الإعلام فى الدول الصناعية إلى وضع الاستفادة الحقيقية من المنجزات الروبوتية فى مجالات تحسين الجودة وتعظيم المقدرة الإنتاجية وخفض التكلفة وحماية الأجيال القادمة من العمل فى ظروف بيئية سوف تأباها الحضارة الإنسانية فى المستقبل القريب .

أما سبيلنا إلى تحقيق ذلك ، فقد أفضنا فى عوامله ومتطلباته خلال الفصل الخامس ، وقد يكون نشر الوعى بالتقنيات الروبوتية ، مما يقدمه هذا الكتاب ، هو أول الغيث فى بحر من الآمال التى تحدونا نحو مستقبل حضارى مشرف لعالمنا العربى .

المراجـــع

◻ المراجع العربية

١ - د. سعيد محمد مجاهد ، « مقدمة فى تكنولوجيا الروبوت » ، مجلة جمعية المهندسين الميكانيكيين المصرية ، العدد ٣٤ سنة ١٩٩١م .

٢ - بليد ، « الجيل القادم من الحواسب » ، مجلة العلوم ، المجلد ٦ ، العدد ٧ ، يوليو / تموز ١٩٨٩ (ترجمة) .

٣ - كاريل تشابك ، « الإنسان الآلى أ.ر.أ . » ، ترجمة وتقديم د. طه محمود طه ، سلسلة مسرحيات عالمية ، القاهرة ، أول مايو ١٩٦٦ .

٤ - المهندس بيهس فرعون ، « الروبوت بين العلم والحقيقة » ، مجلة العرب ، العدد ٤١٥ ؛ يونيو ١٩٩٣ ، ص ١٢٠ - ١٢٥ .

٥ - آلان بونيه ، « الذكاء الاصطناعى ، واقعه ومستقبله » ، ترجمة د. على صبرى فرغلى ، عالم المعرفة ، العدد ١٧٢ - شوال ١٤١٣ هـ ، إبريل / نيسان ١٩٩٣م .

٦ - العلوم الإسلامية (الجزء الثالث) ، تأليف د. أحمد شوقى الفنجرى ، إشراف د. صالح عبد الله جاسم . مؤسسة الكويت للتقدم العلمى ، إدارة الثقافة العلمية .

٧ - فضل علماء المسلمين على الحضارة الأوروبية ، تأليف د. عز الدين فراج .

٨ - سارتون - مقدمة لتاريخ الإسلام فى حضارته ونظمه (الرفاعى) .

٩ - مجلة تاريخ العرب والعالم ، د. منى شعراوى ، الأعداد ٤٢ - ٤٣ - ٥٤ .

١٠ - البداية والنهاية لابن كثير (جـ ٩) .

١١ - رحلات ابن جبير .

◻ المراجع الإنجليزية

1 - Abraham Peled, "The Next Computer Revolution", Scientific American, Vol. 257, No. 4, Oct. 1987.

2 - Karel Čapek, "R.U.R. (Rossum's Universal Robots)", a play in three acts.

3 - Derek Kelly, "A Layman's Introduction to Robots", Petrocelli Books, Princeton, New Jersey., 1986.

4 - Douglas R. Malcon, Jr., "Robotics: An Introduction", 2nd Ed. pws-KENT pub., 1988.

5 - Anthony C.Mcdonald, "Robot Technology, Theory, Design And Application", A Reston Book, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
6 - Mikell P. Groover And Others, "Industrial Robotics, Technology, Programming and Applications", McGraw-Hill Book Co., New York, 1987.
7 - Alain Bonnet, "Artificial Intelligence", Prentice-Hall 1885.
8 - Richard K.Miller, "Industrial Robot Handbook", Competitive Manufacturing Series, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
9 - Marina Burger, "Roboter Technik, English, Deutsch, Franzosisch, Russisch", VEB Verlag Technik, Berlin, 1988.
10- E.B. Silverman, "Industrial Remote Inspection Systems", and T.G. Bartholet, "Odex I-Anew Class of Mobile Robotics." In Proceedings of the Robotics and Remote Handling in Hostile Environments, National Tropical Meeting. American Nuclear Society, 1984.
11- U.S. Nuclear Regulatory Commission. Evaluation of Robotic Inspection Systems at Nuclear Power Plants. Prepared by Remote Technology Corp., March 1984.
12- The Japan Industrial Robot Association, The Robotics Industry of Japan: Today and Tomorrow, "Fuji Corporation", 1982.
13- Suiza, Hispano, "Robots Repair Nuclear Power Stations", Robotics World, September 1984, pp. 18-20.
14- James F.Manji, "Robots 2000, The Human Dimension", Automation, June 1990.
15- R. Hannsen & R. Schneider, "New Robot Designs", Automation, June 1989.
16- J.F. Manji, "Manufacturing Automatic Guided Vehicles", Automation, September 1989.
17- Ford, Jocelyn, "Mobile Conservation Robots", Robot/X News, April 1985.
18- D'Arcy, Anne, "Robots Dominate Homebuilding in Japan", Robot/X News, December 1983.
19- Cichowicz, Ron, "Construction Robots", Robot/X News, August/September 1984.
20- K.E. Wiedamann, "Robot Systems Implementation and Installation Process", Proceedings of Robots 9, 1985, pp. 2-1 to 2-14.
21- Villers, Philippe, "The Role of Vision in Industrial Robotic Systems and Inspections", Electro 83, NY, April 1983.
22- "IBM Robot Speeds Precision Assembly", Robotics World, March 1983, pp. 22-26.
23- Kashioka, S., Takeda, S., Shima, Y., Uno, T., and Hamada, T., "An Approach to the integrated Intelligent Robot with Multiple Sensory

Feedback: Visual Recognition Techniques", Proceedings of the 7th International Symposium on Industrial Robots, Tokyo, Japan, 19-21 October 1977, pp. 531-538.

24- Miller, Richard K., "Robots In Industry: Applications for Assembly," SEAI Institute, Madison, GA 1982.

25- Gevarter, William B., "An Overview of Artificial Intelligence and Robotics, Volume II-Robotics, "National Bureau of Standards, NBSIR 82-2479, March 1982.

26- Gini, Giuseppina and Gini, Maria, "Explicit Programming Languages in Industrial Robots, "Journal of Manufacturing Systems, Vol. 1, No. 2, SME, 1983.

27- Akeel Hadi A., "Expanding the Capabilities of Spray Painting Robots", Robotics Today, April 1982, pp. 50-53.

28- Engelberger, Joseph F., "Spray Painting Applications", chapter 16, Robotics In Practice. AMACOM, 1980.

29- J. Weston, "Arc Welding: A Difficult Path for Robots to Tread", Decade of Robotics, IFS Publications, Bedford, England, 1983, pp. 40-43.

30- R. N. Stauffer, "Welding Robots: The Practical Approach", Robotics Today, August 1983, pp. 43-44.

31- R.D. Potter, "Requirements for Developing Safety in Robot Systems", Industrial Engineering, June 1983, pp. 38-43.

32- R. Hinson, "Training Programs Are Essential for Robotics Success", Industrial Engineering, September 1983, pp. 26-30.

33- R. Hinson, "Robots Provide Improved Quality in Manufacturing", Industrial Engineering, January 1984, pp. 45-46.

34- M.P. Groover, J.E. Hughes, Jr., and N. G. Ordey, "The Social Impact of Factory Automation", Industrial Engineering, April 1984, pp. 50-59.

35- R.U. Ayres and S.M. Miller, "Robotics, Applications and Social Implications", Ballinger, Cambridge, MA, 1983.

36- Asimov, Isaac, "Seventy-one Glimpses of the Future", Boston: Houghton-Mifflin, 1981.

37- "Adapting a Robot Hand to Specialized Functions", NASA TechBriefs, Vol 11, No. 6, June 1987.

38- Asfahl, C. Ray, "A Mathematical Model for Robot Machine Loading Analysis", International Journal of Robotics and Automation, Vol. 4, No. 2, 1989.

39- Barrett, Craig R., "Semiconductor Manufacturing-The Past and The Future", IEEE/SEMI International Semiconductor Manufacturing Science Symposium, Piscataway, N.J., 1989.

40- Baumol, William J., "U.S. Industry Lead Gets Bigger", The Wall Street Journal, Vol. 86, No. 56, March 21, 1990.

41- Bernardon, Edward, "Robots in the Apparel Industry", International

Encyclopedia of Robotics, Vols. 1-3. New York, John Wiley & Sons, 1985, p. 30.

42- Bock, Gordon, "Limping Along in Robot Land", Time, Vol. 130, No. 2, July 13, 1987.

43- Diesenroth, Michael P., "Robot Teaching", Handbook of Industrial Robotics. New York, John Wiley & Sons, 1985.

44- Dorf, Richard C., Editor, International Encyclopedia of Robotics, Vols. 1-3. New York, John Wiley & Sons, 1985.

45- Langston, Marcus, "Electro-Optic Force/Pressure Sensor and Transducer", University of Arkansas Center for Technology Transfer, Technical Bulletin 90-1, January 1990.

46- Zuech, Nello, and Dunseth, Jim. "Vision Systems, Theory", International Encyclopedia of Robotics. New York, Johh Wiley & Sons, 1985.

قائمة المصطلحات الفنية

(إنجليزى - عربى)

(A)

accommodating — تزويد

accuracy — دِقّة

actuator — مُشَغِّل

adaptable programmable assembly system (APAS) — نظام التجميع المواثم القابل للبرمجة

adapter — مُوائِم . مهايىء

adaptive windowing — نَوْفَذَة مُهايئة (فى نظم الإبصار الآلى الروبوتية)

add force — عَزِّز

agility — خفة الحَرَكَة

algorithm — خوارزم (فى الحواسيب)

algorithmic tradition — تقليد خوارزمى (إجراء وضع الأنماط والبحث عن خطوات حل المسائل وتفسير الظواهر)

alternating tripod gait — حامل ثلاثى مُتبَدِّل (إحدى هيئات الروبوتات ذوات الأرجل)

a manufacturing language (AML) — لغة التصنيع إيه . إم . إل (إحدى لغات التشغيل الروبوتية)

analog device — نبيطة (جهاز) تناظرية

analysis — تحليل

AND-gates — بوابات - (و) (فى الحواسيب)

android — أندرويد (روبوت مصنوع على هيئة بشرية)

animals — حيوانات (آلية)

animate — يَهَبُ الحَرَكَة (يجعل شيئا ما يتحرك ذاتيا)

annual costs — تكاليف سَنويّة

annual revenues — عوائد سَنويّة

anthropomorphic hand — شبيهة اليد البشريّة

application — تطبيق

apt language — لغة إيه . بى . تى

architecture — بِنْيَة

arc-on time — زمن اشتعال القوس (فى عمليات اللحام الروبوتية)

arc-sensing system — نظام استشعار القوس (فى عمليات اللحام الروبوتية)

array — مصفوفة

articulated arm — ذراع مفصلية (شبيهة بالذراع البشرية)

artificial intelligence — ذكاء اصطناعى

automated guided vehicle (AGV) — مَرْكَبَة مُوَجَّهَة أوتوماتيًا

automated storage and retrieval systems (as/rs) — نُظُم التخزين والاسترجاع المؤتمتين

automatically programmed tooling (APT) — استخدام الأدوات المبرمجة أوتوماتيا

AUTOPASS language — لغة « أوتوباس » (إحدى لغات التشغيل المؤتمت)

axis limit control — تحكم بالمحددات المحورية

axons — ألياف (محوارات) عصبية

(B)

backlash — فوت . ارتداد . (بوش)

bandwidth — النطاق الترددى

based on- — موشوم على (فى الدوائر الإلكترونية)

component مُكَوِّن
computer حَاسُوب . كُمبيوتر
computer-aided design (CAD)
التصميم بمساعدة الحاسُوب
computer-aided manufacturing (CAM)
التصنيع بمساعدة الحاسوب
computer-aided process planning (CAPP)
تخطيط العمليات بمُساعدة الحاسوب
computer numerical control system (CNCS)
نُظُم التحكُّم الرقمى بالحاسوب
computer simulation المُحاكَاة بالحاسوب
computer test-bed حاسُوب تَجَارِب
computing حَوْسَبَة
computing machines أجهزة الحَوْسَبَة
computing overheads المُتطَلَّبَات الثابتة للحَوسَبَة
(عدد التعليمات التى يتعين تنفيذها فى كل حاسوب من أجل توجيه أو استقبال رسالة واحدة)
computing power القُدرَة الحسابيَّة
concept مَفهوم (ج . مفاهيم)
conceptual مَفَاهيمى
conceptual problem مُشكِلَة الإدراك (المفهومية)
configuration هَيئَة . تشكيل
constraints قُيُود
contact arc- welding sensors
مستشعرات اللحام القوس التلامسية
contact sensing استِشْعَار التلامُس
context سِيَاق
continuous arc-welding لِحَام مُتواصِل بالقَوْس
continuous seam welding لِحَام دَرْزِى مُتواصل
contouring control تَحَكُّم كُونتُورِى
contrast التباين
(فى نظم الإبصار الآلى)
control module وِحْدَة تَحَكُّم
crawl gait هَيئة الزحف
(أحد أشكال حركة الروبوتات ذوات الأرجل)
creation استحداث . تخليق
cutting arm ذِرَاع تقطيع
cybernetics علم السيبرانيات (التَحَكُّم)

belt conveyor سير ناقل
(فى معدات تداول المواد)
bimodal ثنائى الهيئة
binary register مُسَجِّل ثُنائى
(فى الحواسيب)
binary signals إشارات ثنائية
bin-picking التقاط من الصندوق (الكومة)
(التقاط الروبوت لجسم معين من كومة)
bipolar technology
تقنية (تكنولوجيا) ثنائيات الأقطاب
bit بِت (ج . بِتَّات)
(فى الحواسيب)
BRANCH command أمْر ، تفرّع ،
(أحد الأوامر فى اللغات الروبوتية)
brighteness scale تدرج الاستضاءة
(فى نظم الإبصار الآلى)
build your own robot! ! اصنع روبوتك بنفسك
(شعار رفعه منتجو قطع الغيار الروبوتية)
bumper switch مِفْتاح صَدْمِى
butt welding لِحَام تناكُبِى
byte بايت (ج . بايتات)
(فى الحواسيب)

(C)

capital recovery factor
مُعَامل استرجاع رأس المال
cartesian robot روبوت كَرْتيزِى
chips رُقَاقَات
(فى الحواسيب ووحدات التحكم)
coding تَرميز . تشفير . تكويد
computability قَابِليَّة الحَوْسَبَة
command أمر
(فى اللغات الروبوتية)
command signal إشارة أمر
communication software بَرْمَجِيَّات الاتصال
compact disks أقْرَاص مُحْكَمَة
(فى الحواسيب)
compliance مُطَاوَعَة
(خاصية فى الحركة الروبوتية)

cybervision system
نظام رؤية سيبرانية (تحكُّمية)

cylindrical robot — روبوت اسطوانى
(حيز الحركة للروبوت على شكل اسطوانة)

(D)

data access — الوصُول إلى البيانات

data sharing — المُشاركة فى البيانات

data structure — هَيْكَل بيانات

decade — عَقْد (عَشْر سنوات)

decision dupporting system (DSS)
نِظَام داعم لاتخاذ القرارات

degrees of freedom — دَرَجَات الطَّلاقَة (الحُرِّيَّة)

denser circuits
دوائر (دارات) ذات كثافة أكبر

depication — تَكْرِيس

derived — مُسْتَنْبَط

device — نُبِيطَة (ج . نبائط)

dialects — لَهَجَات
(لغات روبوتية مشتقة من بعض اللغات الحاسوبية المعروفة)

differential dithering — الارتِعاش التفاضُلى
(أسلوب تحكم يجعل الروبوت يتحرك فى مسارات متصلة ومتغيرة)

digital device — نبيطة رقمية

digitization — الترقيم
(إحدى مراحل معالجة الصور فى نظام الإبصار الآلى)

direct current (DC) motors
موتُورات التيار المُستمر

direct-drive robot — رُوبوت ذو قيادة مُباشرة

discrete utterance — التفوُّه المُنْفَرِد
(فى نظم الاتصال الصوتى الروبوتية)

disk — قُرْص (حاسُوب)

dot-matrix printer — طَابِعَة المصفُوفَة النُّقَطِيَّة

drive system — نِظَام القِيادَة

dry run cycle — دورة تشغيل جاف (بدون إنتاج)
(فى برمجة الروبوت)

dummy robot — الرُوبُوت الزائِف
(روبوت خاص بالبرمجة فقط ، وهو يحاكى الروبوت الأصلى إلا أنه مصنوع من مواد هيكلية خفيفة)

dwell — فَتْرَة سُكُون

(E)

econometric model — نُمُوذَج للقياس الاقتصادى

edge detection algorithm — خوارزم تَحَسُّس الحَافَّة
(تتابع منطقى لتحليل الصور فى نظم الإبصار الآلى)

efficiency — فَعَالِية . كَفَاءَة

elastic deformation — تشَوُّه مَرِن

electrical contact grid — شَبَكَة تلامُس كَهْرَبِيَّة
(نبيطة استشعار ضغط التلامس)

electric-arc welding — الْلِحَام بالقَوس الكهربائية

electric relay — مُرَحِّل كَهْرَبى

electro-optic sensor — مُستشعِر كَهْرَبى - ضَوْئى

embedded computer — حاسُوب مُضَمَّن

emotional capabilities — قُدْرَات انفِعَالِيَّة

encapsulation — كَبْسَلَة

end-effector — مُستجيب (مُؤثِّر) طَرَفى

end product — مُنْتَج نِهائى

enterprise — مُنْشَأة . مَشْرُوع

entity — وَحْدَة

equivalent uniform annual cost method
طَرِيقة التَكْلُفة السَنَويَّة المُنْتَظِمَة المُكَافِئَة
(إحدى طرق التحليل الاقتصادى للمشروعات الروبوتية)

etching — وَشْم

evolution — تطوير

expansion factor — عامِل التوسُّع

expected demand — الطَّلَبُ المُتوقَّع

expert systems (ES) — نُظُم خبيرة

exponentially — أسِّيًا

(F)

fabrication techniques أساليب التصنيع
facilitating تيسير . تبسيط
facilities مَرَافِق . تجهيزات
fail-safe hazard detector
مُستكشِف فشل نُظم الأمان
feedback تغذِيَة مُرتدَّة (مُرتجَعَة)
field-effect transistor
ترانزستور التأثير المَجالىّ
fillet welding لِحَام زاوىّ
fill in the details يَستكمِل التفاصيل
financial industry صناعة التمويل
first generation languages لُغات الجيل الأول
(لغات برمجة الجيل الأول من الروبوتات)
fixed sequence manipulator
مُناوِل يَعمل بتتابع ثابت
fixed sequence robot رُوبُوت ذُو تتابُع ثَابت
fixed window نافِذَة ثابِتَة
flexible manufacturing systems (FMS)
نُظم التصنيع المَرِنة
flow charts مُخططات سَيْر العَمَل
flow of control تدَفُّق التحَكُّم
force sensing استِشعار القوى
forklift truck عَرَبَة ذات شَوْكة رافِعَة
formulation صِيَاغَة
FORTRAN language لُغة « فورتران »
fuel cells خلايا وَقُودِيَّة
(إحدى وسائل تغذية الروبوتات بالقدرة)
fuel reprocessing إعادة مُعَالجة الوَقُود
(فى المنشآت النووية)

(G)

gait of walking هَيئَة المَشْى
gallium arsenide زِرْنِيخيد الجَاليُوم
(مادة مستخدمة فى تصنيع المستشعرات)
gantry robot رُوبوت القَنْطَرة
gate delay تأخِير البَوَّابَة
genetic code شفرَة وراثيَّة
giga جيجا (ألف مِليُون)
gigaflap
ألف مليون عَمَليَّة فاصِلَة عَشريَّة عائِمَة
(فى الحواسيب)
global accuracy الدِقَّة الشامِلَة
(الدقة التى تستهدف حيز العمل الكامل للروبوت)
graphic representation تمثيل بَيَانىّ
greenhouse صُوبَة زراعية (بَيْت الدَفِيئة)
grip mechanism آليَّة قَبْض
gripper قابِض
gripper pressure sense
إحْسَاس القوابِض بالضغط
gross income الدَخْل الإجمالى

(H)

hardware مُكوِّن مادى (جامد)
(فى الحواسيب ومعدات التحكم)
HELP language لُغة « هلب »
(لغة تشغيل روبوتية)
hexadecimal computer code
شفرَة حَاسُوبيَّة سداسيَّة عَشريَّة
high-level language لُغة رفيعة المستوى
(لغة روبوتية ذات إمكانات ذكاء اصطناعى)
high-speed microprocessors
مُشغِّلات دَقِيقَة عالية السُرْعَة
histogramming عَمَل أعمِدَة بيانية
(فى تحليل صور نظم الإبصار الآلى)
hold time فَتْرة الانتظار
hook خُطَّاف
hot cells خلايا ساخِنَة
(فى المفاعلات النووية)
human capabilities قُدُرَات بَشرِيَّة
hydraulic system نِظَام هيدرولى

(I)

image acquisition تكوين الصُورَة

image scanning مَسْح الصُوَرة
(فى نظم الإبصار الآلى)
impend يُعِيق
implementing تنفيذ
industrial engineers مُهَندسون صناعيون
inferential skills مَهَارات استنتاجية
information representation تمثيل المعلومات
infrared rays الأشِعَّة تحت الحَمْراء
in parallel على التوازى . فى وقت واحد
insights مفاهيم
interference signals إشارات التداخُل
interlocks أقْفَال داخليَّة
interface وَصْلَة بينية (وحدة ربط)
interface design
تصْميم الوُصَل البَينيَّة (وَحدات الرَبْط)
interface with other systems
التعامُل مع النظُم الأخْرى
intuitive capabilities قُدرَات حَدسيَّة
inventory control مُرَاقَبَة المَخْزُون
investments استثمارات
Isomorphs مُمَاثِلات شَكْليَّة (أيزومورفات)
(كائنات صناعية على شاكلة البشر أو الحيوانات)

(J)

jointed spherical arm ذِراع مِفْصَليَّة كُرَويَّة
jointed spherical robot رُوبوت مِفْصَلى كروى

(K)

Keyboard لوحَة مفاتيح

(L)

language-base tools
الأدوات التى تعْتَمِد على لُغات بَرْمَجِيَّة
language structure بِنْيَة اللُّغة
laser printer طَابعة الليزَر
lateral genicular nucleus
النواة الرُكَبيَّة الجانبيَّة
lead-through programming بَرْمَجَة بالمُصَاحَبَة
(برمجة الروبوت بمصاحبة صندوق
توجيه يحمله عامل التشغيل)
lead time زَمَن الوُصُول
lighting الإضاءة
(فى نظم الإبصار الآلى)
limited sequence robot
رُوبوت ذو تتابُع مَحْدُود
limit switch مِفْتاح حَدِّى
linear interplotation استيفاء خطى
line tracking مُتابَعة خطيَّة (على خط الإنتاج)
link وَصْلَة . مَسَّاكَة
liquid-crystal بَلُّورَة سائِلَة
lithography الليثوغرافيا (عِلْم الطباعة)
load information تحْمِيل (تخزين) المَعْلُومات
local accuracy دِقَّة مَحَليَّة (مَوضِعيَّة)
location مَوْقِع
logical relations عَلاقَات مَنْطقيَّة
long-lived مُعَمِّرَة . تُعَمِّر
Luddite لوُدِيت (مُحَطِّم الآلات)

(M)

machine tools مَكَنات التشغيل . آلات الورش
magnet مِغْنَطِيس
male electric connection وَصْلَة كَهْرَبيَّة ذَكَرِيَّة
maneuverable قَادِر على المُنَاوَرَة
man-rem وَحدة « الرَجُل - رِم »
(وحدة بها يقاس نصيب الرجل الواحد من
الإشعاع المعادل للأشعة السينية)

manufacturing resource planning systems (MRPS)
نُظُم تخطيط مُستلزمات التصنيع
mainframe حاسوب كبير
manipulator مُناوِل
manual manipulator مُناوِل يدوى
material requirements planning (MRP)
تخطيط احتياجات المواد
manufacturing control language (MCL)
لُغة التحكُّم التصنيعية
(إم . سى . إل)
manufacturing information systems (MIS)
نُظُم مَعلومات التصنيع
massive parallelism
الموازاة (التفرُّعيَّة) الجَسيمة
mass spectrograph رَاسِم الطَّيف الكُتلىّ
mean time between failure (MTBF)
الفترة الزَّمَنيَّة المتوسطة بين الأعطال
mean time to repair (MTTR)
الفترة الزَّمَنيَّة المُتوسطة اللازمة للإصلاح
mechanical system نِظام ميكانيكى
mechanical tactile probe مِجَس لَمسى ميكانيكى
mediums وسائط
memory chips رَقائِق للذاكرة (فى الحواسيب)
metal inert gas welding
لِحَام بالمَعْدَن والغاز الخامل
microprocessor مُشغِّل دَقيق . مُعَالِج ميكروى
microsurgery جِراحَة دَقيقة
(يمكن إجراؤها بمعاونة الروبوت)
millisecond
المِلّى ثانية (واحد على ألف من الثانية)
miniaturization تصغير الحَجْم
minicomputer حاسوب صَغير
minute wire سِلك دقيق
millions of instructions per second (MIPS)
عَدَد مَلايين التَّعليمات فى الثانية
mixed mode hierarchial control
نِظام تحكُّم ذو نَمَط مُؤتلِف
mobile robot رُوبوت جَوَّال
mobility قابلية التنقُّل (التجوال)
modeling نَموذج
modularity قابلية التجزىء
motion control system نِظام التحكُّم فى الحركة
motion لُغات المُستوى الحَرَكىّ
mouse فَأرَة التوجيه
move signal إشارة « تحرك » (موف)
multidegrees of freedom
دَرَجات مُتعَدِّدة الطَّلاقة (الحُرِّيَّة)
multi-function مُتعَدِّد الوظائف
multiple contact pads حُشوَات تلامُسيَّة مُتعَدِّدة
(فى مستشعرات التلامس الروبوتية)
multiple end coordination
التنسيق بين الأطراف المُتعَدِّدة
multiple passes welding لِحَام مُتعَدِّد المَسَارَات
multiprocessor configuration
تشكيل مُتعَدِّد المُعَالِجَات
multitasking unit وَحدَة مُتعَدِّدة المَهام

(N)

natural language interpretation
تفسير اللُّغات الطَّبيعيَّة
navigation التَرحَال . المِلاحَة
neodynium-iron alloy سَبيكة النيوديثيوم - حَديد
(مادة مغنطيسية تتميز بشدتها المغنطيسية العالية لنفس قيمة التيار الكهربى)
net accumulated cash flow
التدفُّق النقدى الصَّافى المُتراكِم
network شبَكَة (ربط)
networking الجوار مَع شبَكات المَعلومات
neuronal population تجَمُّع عَصَبى
non-contact sensors مُستشعِرات غَير تلامُسيَّة
non-linear finite element method
طَريقَة العناصر المَحدودة غَير الخطِّيَّة
(فى المعالجات الرياضياتية)
non-servo robot رُوبوت غَير مُؤازَر
Nose cone probe مِجَس ذُو أنف مَخروطى
numerical control (NC) robot
رُوبوت ذُو تحكُّم رَقمى

photodiode صِمَام ثُنائى ضَوْئى

photo-electric sensor مُسْتَشعِر كهرضوئى

photoreduction اختزال الألوان

(إحدى مراحل نظم الإبصار الآلى)

photovoltic cell خلية فُوتوفلطية

(خلية تحول التأثيرات الضوئية إلى كهرباء)

pick and place robot رُوبوت التقاط ووضع

pickup truck شاحنة نصف نقل (بيك أب)

picosecond بيكو ثانية

piece rate incentive system (PRIS)

نظام التحفيز على أساس معدل القطع المنتجة

piezoelectric material مادة كهربية - ضغطية

Pioneer-10 البيونير - ١٠

(قمر صناعى ذو إمكانات روبوتية)

pirouette البروتة

(أحد أنواع الحركة الروبوتية الشبيهة بحركة البروتة التى تؤديها راقصة الباليه)

Pixel

بيكسل (عنصورة - مشتق من « عنصر الصورة »)

(أصغر وحدة يمكنها الاستجابة بشكل مُسْتَقِل لشدة الضوء فى الشبكة الكهربية لنظام الإبصار الآلى)

playback robot رُوبوت ذو تشغيل مُستَرْجَع

pneumatic drive قيادة (إدارة) نيوماتية

(بالهواء أو بالغازات المضغوطة)

point-to-point control تحكم من نقطة إلى نقطة

polygon كَثير الأضلع

positioning system نِظَام تَحْديد الوَضع

postprocess مُعَالجة لاحِقَة

precision إحْكَام . ضبط

predecessor سَلَف (جـ . أسلاف)

presence-sensing mechanism

آلية استِشْعَار الوجُود

price سِعْر

problem-solving حَل المُشكِلات

processing مُعَالَجَة

production yield الحصيلة الإنتاجية

production lithography الليثوغرافيا الإنتاجية

(O)

obstacle avoidance تجَنُّب العَوائِق

occupational radiation exposure (ORE)

التعَرُّض الإشْعَاعِى المِهَنِى

off-line programming بَرْمَجَة خارِج الخط

offset زَحْزَحَة

omnidirectional نِظَام اتجَاهى شامِل

open-loop control تحَكُم مَفْتُوح الحَلَقَة

optical encoder مكود (مُشَفِّر) ضوئى

OPTOELECTRONIC circuit

دائِرَة (دارة) إلكترونية ضوئية

organic chip رُقَاقَة عُضْويَّة

(فى حواسيب المستقبل)

OR-gate بَوَّابَة - (أو)

(فى الحواسيب)

overhead hoist رافِعَة كهربائية عُلوية

(P)

paller مِنصَة نقَّالة (طَبْلِيَّة)

parallel architecture مِعْمَارِيَّة مُوَازِيَة (تفْرِيعيَّة)

parallel machines مَكَنات متُوازِيَة

parallel processing مُعالَجَة مُتوازِيَة

parallel processor مُعَالِج مُتوازٍ

parasitic effects التأثِيرات الطُفَيلِيَّة

part-compliant tool أداة ذات مُطَاوَعَة مع الأجزاء

(المشغولات)

patrol robot رُوبوت دَوْرِيَّة

pattern recognition التعَرُّف على الأنماط

pause توقُف مؤقت

payback method طَريقة فترة الاسترداد

(فى التحليل الاقتصادى)

payload capacity مَقدِرَة الحَمْل

perceptual capabilities قُدرات إدراكية

peripheral unit وَحْدَة تكميلية (طرفية)

permutation network شَبَكَة تبادِيل

personal computer حاسُوب شخصى

personal robot رُوبوت شخصى

programmable قابل للبَرْمَجَة

program skills مَهَارات البرنامج

protocols بُروتوكولات (نُهُج اتصال)

prototyping إعداد النَمَاذج الأوَليَّة

programming keyboard لَوْحَة مفاتيح البَرْمَجَة

promising وَاعِدْ

PUMA robot

(programmable universal machine for automation)

رُوبوت طِراز « بوما »

(المكنة العامة المبرمجة الخاصة بالأتمتة)

(Q)

quality نَوْعِيَّة . جَوْدَة

quantum chromodynamics

الديناميكا اللونية الكَمُوميَّة

(R)

radio frequency device نبيطة ترددات الراديو

(مستشعر وجود روبوتي يعمل بترددات الراديو)

RAIL language لغة « ريل »

(إحدى لغات التشغيل الروبوتية)

range finding techniques تِقْنيات تَحْديد المدى

raster system نظام راستر

(نظام مسح الصور فى آليات الإبصار الصناعى)

rate-of-return مُعَدَّل الاسْتِرْجَاع

raw cost التكلفة الأوليَّة

reactor core قَلْب المُفاعِل

recession تَراجُع

reemployment إعادة التوظيف

REM الرِمّ (مُعادِل الرَجُل من أشِعَة رونتجن)

remote center compliance tool

أداة التوافق مع المركز المُبْتَعِد

remote control التَحكُّم عن بعد

remote-controlled equipment

مُعِدات مُتَحكَّم فيها عَنْ بُعد

remote reconnaissance vehicle (RRV)

عَرَبَة الاستِكْشاف عن بُعد

remotely operated vehicle (ROV)

مَرْكَبَة مُشَغَلَة عَنْ بُعد

removal of problems التخلُّص من المُشكِلات

repeatability التكراريَّة

repository قابل للخزن . مُستودَع

reproduce an image تخريج صُورَة

resolution الوُضُوح (قوة فصل الشاشات)

response time زَمَن الاستجَابَة

retention إبْقاء

retraining إعادة التدريب

return on investment method

طَرِيقَة العائد على الاستثمار

reverse engineering الهَنْدَسَة العَكسيَّة

robot رُوبوت

robot brain عَقْل الرُوبوت

robot control language لُغة التحَكُم فى الروبوت

robot tools أدوات الروبوت

robotic languages اللغات الرُوبوتية

robotics الرُوبوتية

robotic vision رُؤيَة رُوبوتية

robot industries association (RIA)

جَمعيَّة الصِناعات الرُوبوتية

robot wrist رُسْغ (مِعْصَم) الرُوبوت

robovision system نِظام رُؤيَة رُوبوتية

rontgen equivalent man (REM)

مُعادِل الرَجُل من أشعة رُونتجن (رِمّ)

rudimentary بِدائى

run-lengths أطْوَال المَسَارات

(S)

semarium cobalt alloy

سَبيكة السَمَرْيُوم - كُوبالت

(مادة مُرَشَحة للاستخدام فى تصنيع

الموتورات الروبوتية عالية الكفاءة)

scaling up تحسين . زِيادة القُدْرَة

scoop جاروف

screen شاشة

SCARA robot
(selective compliance assembly robot arm)
رُوبوت « سكارا »
(الذراع الروبوتية المجمّعة ذات المُطاوعة الانتقائية)

scene analysis — تَحْليل المَشاهِد

second generation languages — لُغات الجيل الثانى

selective compliance — المُطاوَعَة الانتقائية
(مقدرة الروبوت على إعادة ضبط وضعه ذاتيا لتصحيح عدم المحاذاة)

semiconductor — شِبْه مُوَصِّلَة

sensing capability — المَقْدِرَة الاستشعارية

sensor — مُستشعِر
- **light sensor** — مستشعر الضوء
- **motion sensor** — مستشعر الحركة
- **obstruction sensor** — مستشعر العوائق
- **proximity sensor** — مستشعر الاقتراب
- **tactile sensor** — مستشعر باللمس

sensor technology — تِقْنِية (تكنولوجيا) المُسْتَشْعِرَات

sensory — قُدُرَات استشعارية

sequencing — نِظام تتابُعى

servo-controlled robot — رُوبوت ذُو تَحَكُّم مُؤازِر

servomotor — مُحَرِك مُؤازِر
(يعمل بالتغذية المرتدة من وحدة تحكم)

servo system — نِظام مؤازرة

shades of colour — دَرَجَات اللَّوْن

shared data — بَيَانات مُشْتَرَكَة
(بين أكثر من وحدة حاسوبية أو وحدة تحكم)

shear sensing — استِشْعَار القَصّ

shift — فَتْرَة العمل (الوَرْدِيَّة)
(تكون فى المعتاد ٨ ساعات)

silhouette — السيلويت (صُورة ظلية)

simulation — محاكاة

single-chip computer — حاسُوب وحيد الرُقَاقة

single function robot — رُوبوت أحادى الوظيفة

single processes — مُعَالَجَات مُنْفَرِدَة

software — البَرْمَجِيَات . البَرَامِج الجَاهِزَة

solenoid valve — صمام وشائعى (لولبى)
(صمام يجرى تشغيله بواسطة ملف كهربى لولبى)

spatial coordinates — إحداثيات مَكَانيَّة

spatial resolution — الثَبَات المكَانى

special routine — بَرْنَامَج فَرْعى خاص
(يضاف إلى البرنامج الأصلى لإخراج الروبوت من دورته عند حدوث خلل طارىء)

spherical robot — رُوبوت كروى
(ذو حيز تشغيل على شكل كروى)

spot welding — لِحَام بُقَعِى

spray gun — مِدْفَعة طِلاء بالرَّش

spring — نابِض (زُمْبُرُك)

SQUEEZE command — أمْر « اضغط »
(أحد أوامر التشغيل الروبوتية فى عمليات اللحام البُقَعى)

squeeze time — وَقْت الضَغط

stability — الثَبَات

stepper motor — موتُور مَرْحَلى (مُتَدَرِّج)

structure — هَيْكَل

Structured language — لُغَة تركيبِيَّة

structuring — وَضع هَيْكَل . إنشاء

subroutines — بَرامِج فَرْعِيَّة

succinctly — مُحْكَم . بإحكام

suction cup — كَاس شفَّاطة
(وسيلة التقاط تستخدم الشفط الهوائى فى جذب الأجسام إلى اليد الروبوتية)

supercomputer — حاسُوب فائق

supercondutor — مُوَصِّل فائق
(مادة فائقة التوصيل الكهربى)

switch-and-gate — المُبَدِّل والبوابة

switching fabric — شَبَكَة تحويل

synthesized voice response unit
وحدة استجابة صوتية تخليقية
(تعمل بتخليق وتوليف مقاطع الحديث)

synthesize speech — تخليق الحديث
(تركيب جمل صوتية منطوقة)

system in-service inspection (SISI)
نظام الفحص أثناء الخدمة
([illegible])

tactile sensing — الإحساس باللمس

tactile sensor — مُستشعِر باللمس (لمسى)

target population تجَمُّع مُستهْدَف

task مُهِمَّة

tax return عائِد ضَرائبى

teaching robots روبوتات التعليم

teachpendant عُلاَّقَة (صُنْدُوق) التوجيه

(صندوق معلق يستخدم فى برمجة

وتوجيه الروبوت أثناء تشغيله)

teach mode نَمَط التعليم

technical knowledge معارف تِقنية

technologies تقنيات

technology bill of rights

فاتورة الحقوق التقنية (التكنولوجية)

(نوع من الضرائب على الأتمتة لتعويض البطالة)

teller machine آلة صرّافة

tell the machine تلْقِين الآلة

tendon technology تقنية العَصَب

(إحدى تقنيات التحكم فى حركة قابض الروبوت)

terminal وحْدَة طَرَفِيَّة

terminal node عُقْدَة طَرَفِيَّة

terrapin turtle سُلْحِفاة ، الترَابين ،

(أحد أشكال الروبوتات الحيوانية)

textual language لُغَة نَصِّيَّة

(لغة برمجة حاسوبية تُستخدم

فيها مفردات اللغة الإنجليزية)

thresholding البَدَاءة

(أحد أساليب تحليل الصور)

throughput الإنتاجيَّة (قُدْرَة التشغيل الحقيقية)

through-the-arc system نِظَام تخَلُّل القَوس

(أحد نظم استشعار قوس الشرر فى عمليات اللحام)

tightly coupled مُحْكَمَة الربْط

timer مُؤَقِّت

time study دِرَاسة الوَقْت

toggle switch مِفتاح مِفْصَلى

track يُتابِع ، مَسَار

training arm ذِراع تَدريب

(ذراع مماثلة لذراع الروبوت تُستخدم فى

البرمجة بأسلوب التدريب بواسطة عامل ماهر)

trajectory مَسَار

trajectory planning تخطيط المَسَارات

transaction مُعَامَلة

transducer مُحَوِّل طَاقَة

transmit instruction يُنْقِل المعلومَات

trends اتجاهات

trunk robot رُوبوت خُرطومى

(على هيئة خرطوم الفيل)

two-position control تحَكُّم ذو موضعين

(U)

unabated بدون انقطاع

undergrid operations تُؤمِّن العمليات

uniprocessor مُعَالِج أحادى

univac computer حاسُوب يونيفاك

(أول حاسوب ذى برنامج مخزون يُتاح تجاريا)

universal عام . كُلى

universal hand يَد مُتعددة الأغراض

unprecedented غَير مَسْبُوق

updating تحْديث

utility مِرْفَق . أداة

utilize يَستخْدِم

(V)

VAL language لُغة فال

(لغة تشغيل روبوتية)

variable sequence robot رُوبوت ذو تتَابُع مُتغيِّر

verastile مُتعَدِّد الإمكانات

versions نوْعيَّات

Victor's assembly language (VAL)

لُغة فيكتور المُستخدَمَة فى التجَمع (فال)

(إحدى لُغات عمليات التجميع الصناعى)

welding seam دَرْزَة لِحَام

wheeled robots رُوبوتات ذَوات عَجَلاَت

windowing نوفَذَة (صُنْع نافِذَة)

(التركيز على مساحة محددة من صورة أو من شاشة كبيرة)

working point نُقطَة تشغِيل

work measurement قِياس الأعْمَال

work stations مِحَطَّات (وحدات) التشغِيل

work volume حَيِّز (نِطَاق) العَمَل

wrist yaw انْعِرَاج الرُسْغ (المِفصَم)

(الزاوية التى يتحركها رسغ الروبوت يمينا أو يسارا فى المستوى الأفقى عندما تكون حركته الأساسية حول المفصل الدورانى فى الاتجاه الرأسى)

writing software كِتابَة البَرْمَجِيَّات

(X)

X Y Z robot رُوبوت س ص ع

[روبوت ذو إحداثيات حركة متعامدة فى اتجاه (س) و (ص) و (ع)]

vision-based systems نُظُم مُعْتَمِدة على الرُؤيَة

(نظم تَحَكّم روبوتية تستمد معطياتها من وحدة إبصار آلى)

vision camera كاميرا للرؤية

vivid image صُورَة حَيَّة

voice communication الاتصال الصَوتى

voice command unit وحْدَة تلَقّى أوامِر صَوْتية

voice response الاستجابة للصَوت

volume production إنتاج كَمّى (ضخم)

(W)

WAIT signal إشارة « انْتَظِر » (وِيت)

walking robots الرُوبوتات المَشَّاءَة

(ذوات الأرجل)

walk-through programming برمجة مَحْمُولة

weave amplitude سِعَة التَمَوُّج

(فى عمليات التموج)

weave welding لِحَام تَمَوُّجِى

WELD command أمْر « إلحِم » (وِلْد)

weld-gap irregularities عَدَم انتظام فَجَوات اللحَام

welding groove حَزّ اللحَام

welding gun مِدْفَعَة لِحَام

welding pool بِرْكَة لِحَام

رقم الإيداع

١٩٩٦ / ٧٣١٨



مطابع الأهرام التجارية - قليوب - مصر

الروبوت بين الخيال والتطبيق

رغم تزايد استخدام الروبوت الإنسان الالى فى مختلف مجالات الصناعة والخدمات فى الدول المتقدمة ، ما زالت الأفكار السائدة عن هذا النوع من التكنولوجيا فى عالمنا العربى ، أقرب ما تكون إلى شطحات الخيال العلمى وتصورات أفلام حروب الكواكب .

والكتاب الحالى يسد هذا النقص بأن يقدم خلفية تاريخية عن الموضوع ، وعرضا لأساسيات تقنيات الروبوت ، والتطبيقات المعاصرة لها ومستقبلها ، ومتطلبات نقلها للعالم العربى بأسلوب سهل وسلس وعلمى فى ان واحد .

والمؤلفان هما : الدكتور أنور محمود عبد الواحد مدير مركز التعليم المتواصل بجمعية المهندسين المصرية ، حاصل على الدكتوراه فى الهندسة الميكانيكية من جامعة بروكسل . وهو محرر ١٩ معجما تخصصيا ورئيس تحرير الطبعة العربية من معجم ماكجروهيل للعلوم والتكنولوجيا ، والدكتور أحمد أمين عبد المجيد أستاذ ورئيس قسم الهندسة الحرارية بمعهد التبين ، حاصل على الدكتوراه من أوكرانيا ، له عدد من المعاجم والكتب .

الناشـــــر

مركز الأهرام للترجمة والنشر
مؤسسة الأهرام
التوزيع فى الداخل والخارج : وكالة الأهرام للتوزيع
ش الجلاء - القاهرة

مطابع الأهرام التجارية - قليوب - مصر